



División de Ciencias y Artes para el Diseño  
Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

VISUALIZACIÓN DEL VIENTO EN MEGAESTRUCTURAS (RASCACIELOS) Y SU  
IMPORTANCIA BIOCLIMÁTICA

Arq. Alejandro Morales Cruz

Tesis para optar por el grado de Maestro en Diseño  
Línea de Investigación: Arquitectura Bioclimática

Director

Dr. Jorge M. A. Sánchez de Antuñano y Barranco

Co-Director

Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet

Sinodales

Dr. Aníbal Figueroa Castrejón

Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet

Mtra. Verónica Huerta Velázquez

Mtro. Rodolfo Santa María González

México Noviembre 2014

## Resumen

El propósito de esta tesis es determinar las tendencias de los rascacielos, mediante la aplicación de una metodología de diseño arquitectónico, que se refleja en un análisis cuantitativo y cualitativo de una serie de edificios de gran altura y del mismo modo se evalúan las mejores tendencias ante el factor viento, uno de los elementos más importantes que define la forma final de esta tipología.

Se realizó la experimentación de los elementos en dos etapas; forma física y numérica, con la construcción de maquetas en acrílico, analizados en un túnel de viento de circuito abierto y de forma numérica con la Dinámica de Fluidos Computacional, CFD por sus siglas en inglés, que permitió el análisis experimental de los modelos. Los resultados obtenidos se comparan de forma cualitativa para poder determinar las tendencias de las edificaciones, ante el factor viento.

Mediante las técnicas de visualización por hilos de humo, campo de presión, campo de velocidades, se logró hacer la experimentación de los diferentes casos de estudio. El análisis de los rascacielos se hizo de forma aislada y se simplificaron los modelos a formas geométricas básicas, con el fin de tener una metodología de análisis.

La metodología implementada nos permite entender la complejidad de las características internas y externas de los rascacielos, para proyectar edificaciones de gran altura mucho más eficientes.

Los diversos análisis realizados en esta investigación nos han permitido entender la complejidad del comportamiento del viento, en una de las tipologías arquitectónicas más controversiales de todos los tiempos.



## **Abstract**

The purpose of this thesis is to determine the tendencies of skyscrapers, by the application of an architectonic-design methodology, which reflects itself in a qualitative and quantitative analysis of a series of high-rise buildings; similarly the best trends are evaluated before the wind factor, one of the most important elements that defines the final shape of this typology.

It was developed the experimentation of the elements in two stages: physical form and numeric, by the construction of acrylic models, analyzed in a wind tunnel open circuit and in a numeric way, by the Computational Fluid Dynamics (CFD), which allowed the experimental analysis of the models. The obtained results are compared in a qualitative way in order to determine the tendencies of the buildings, before the wind factor.

Through visualization techniques by smoke threads, pressure field and velocity field it was achieved the experimentation of the different case studies. The skyscraper analysis was made in an isolated way and the models were simplified to basic geometric shapes in order to have an analysis methodology.

The implemented methodology allows us to understand the complexity of the internal and external characteristics of skyscrapers to design buildings of great height much more efficient.

The diverse analysis made in this research has allowed us to understand the complexity of the wind behavior in one of the architectonical typologies most controversial in all times.



## **Agradecimientos**

Agradezco a la Universidad Autónoma Metropolitana y CONACYT por el respaldo que facilitó el desarrollo de la tesis. Al Departamento de Medio Ambiente por la facilitación de las instalaciones.

Agradezco al Dr. Jorge Manuel Alejandro Sánchez de Antuñano y Barranco por su dedicación, enseñanza, apoyo y tiempo que me brindó, en este proceso de vida

Agradezco a mi asesor Dr. Víctor Fuentes Freixanet por su amistad y su apoyo en todo momento, gracias.

Muchas gracias al jurado por su tiempo y todas las atenciones brindadas.

## **Dedicatorias**

A mí amada familia, mi motor de vida y superación.

A mis más preciados amigos Gustavo, Johanna, Carmen, Paul, Melqui, Yoshi, Alexa, Laura, Albeth, Gloria, Julio y Tania; por su compañía en este proceso de vida y en especial a mi amor Cecilia.





# Contenido



<b>Capítulo I.....</b>	<b>4</b>
LA IMPORTANCIA DEL VIENTO EN LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA.....	4
Introducción	5
Viento en la arquitectura	6
Planteamiento del problema	9
Caso estudio	14
Justificación	15
Objetivo general	16
Hipótesis	16
Conclusiones	16
<b>Capítulo II.....</b>	<b>20</b>
EL ORIGEN DE LA TIPOLOGIA DEL RASCACIELOS.....	20
Introducción	21
Origen del rascacielos.	23
Tipologías estructurales de los rascacielos	33
Conclusiones	45
<b>Capítulo III.....</b>	<b>47</b>
LA IMPORTANCIA DEL VIENTO EN LOS RASCACIELOS .....	47
Introducción	48
Vientos generales	50
Vientos locales	52
Viento en las edificaciones	53
Casos de estudio	54
Edificios con doble fachada ventilada	63
La evolución de la fachada en los rascacielos	68
Conclusiones	82
<b>Capítulo IV.....</b>	<b>88</b>
TENDENCIAS DE LOS RASCACIELOS APLICACIÓN METODOLÓGICA.....	88
La visualización del proyecto en los rascacielos	89
Método de Visualización	90
Casos de estudio	91



Área Usable	114
Mejores casos de estudio	121
Peores casos de estudio.	124
Amueblabilidad	128
Mejores casos de estudio	137
Peores casos de estudio.	140
Flexibilidad	144
Mejores casos de estudio	150
Peores casos de estudio.	153
Conclusiones	157
<b>Capítulo V.....</b>	<b>159</b>
METODOLOGÍA DE VISUALIZACIÓN EXPERIMENTAL Y NUMÉRICA DE LOS CASOS ESTUDIO.....	159
Introducción	160
Túnel de viento	161
Tipos de túneles aerodinámicos.	162
Túnel de circuito abierto de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco	164
Partes de un túnel de viento	164
Cámara de establecimiento	164
Mecanismo de inyección de humo	167
Funcionamiento	168
Técnica de visualización	172
Conceptos de descripción de flujo de fluido	172
Métodos de visualización	175
Métodos	176
Resultados de la visualización	177
Técnica de visualización de humo en 2D por dispositivos iOS	179
Modelos a escala	183
<b>Capítulo VI.....</b>	<b>186</b>
ANÁLISIS Y RESULTADOS DEL IMPACTO DE VIENTO.....	186
Análisis de la visualización del humo del flujo de aire	187
Caso 1. Prisma Cilíndrico.	188



Caso 2. Prisma Triangular-Fachada larga.	190
Caso 2.1. Prisma Triangular-Fachada corta.	191
Caso 3. Prisma Rectangular-Fachada larga.	193
Caso 3.1. Prisma Rectangular-Fachada corta.	194
Caso 4. Prisma Elíptico-Fachada larga.	196
Caso 4. Prisma Elíptico Rotado-Fachada corta.	198
Análisis del flujo con la técnica de CFD	200
Caso 1. Prisma Cilíndrico.	201
Caso 2. Prisma Triangular.	205
Análisis vertical de prisma triangular	205
Orientación A	206
Orientación B	207
Análisis en planta de la orientación A.	210
Análisis en planta de la orientación B.	211
Caso 3. Prisma Rectangular.	213
Análisis vertical del prisma rectangular	213
Orientación A	213
Orientación B	215
Análisis en planta de la orientación A.	217
Análisis en planta de la orientación B.	218
Caso 4. Prisma Elíptico.	220
Análisis vertical de prisma elíptico	220
Orientación A	220
Orientación B	222
Análisis en planta orientación A.	224
Análisis en planta orientación B.	225
Conclusiones del análisis	227
<b>Capítulo VII.....</b>	<b>229</b>
<b>PROPUESTAS Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>229</b>
Propuesta de las Megaedificaciones	230
Análisis de las propuestas	231
Caso 1. Prisma triangular torcido.	232



Análisis vertical	232
Análisis en planta	235
Caso 2. Prisma rectangular torcido.	237
Análisis vertical	238
Análisis en planta	240
Caso 2. Prisma elíptico torcido.	243
Análisis vertical	243
Análisis en planta	245
Conclusiones	249
Trabajo presente	249
Bibliografía	251
Figuras	254
Tablas	263



# Capítulo I.

## LA IMPORTANCIA DEL VIENTO EN LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

En este primer capítulo voy a abordar la importancia del viento como uno de los principales elementos a considerar en la arquitectura bioclimática y, sobre todo, el impacto que tiene en las edificaciones de gran altura. Para ello plantearé el problema y el caso de estudio, y definiré la justificación, la hipótesis y los objetivos de mi investigación.



## Introducción

La arquitectura bioclimática es el arte de proyectar y construir edificaciones adaptadas a las condiciones climáticas del entorno, esto es, se toman en cuenta los *factores* y los *elementos* del clima para minimizar el impacto de las construcciones sobre el medio ambiente.

- a. Los *factores* del clima son las condiciones físicas que conforman una región y que determinan su clima, como altitud, latitud, longitud, corrientes marinas, modificaciones al entorno, vegetación, superficies de agua, relieve y distribución de tierra y agua.
- b. Los *elementos* del clima son aquellas propiedades físicas de la atmosfera que se encuentran en un ciclo dinámico y continuo donde la modificación de sus variables afectan a un todo. Estas propiedades son: escala, temperatura, humedad, precipitación, viento, presión atmosférica, radiación, nubosidad y visibilidad.

La influencia del viento en las edificaciones es de suma importancia debido a la interacción directa del primero sobre las superficies de las construcciones. Dicha interacción puede llegar a provocar fenómenos aeroelásticos como desprendimiento de torbellinos, galope transversal, galope inducido, flameo o bataneo. El fenómeno de flameo, por ejemplo, ha causado el derrumbe de algunas estructuras por la oscilación repentina en el aumento de la velocidad del viento, provocando amortiguamientos negativos, incrementos en la tensión del material y, finalmente, el derrumbe. ( Real Ramírez, et al., 2011).

Fue el caso del puente de Tacoma Narrows que colapsó el 7 de Noviembre de 1940 a causa de la resonancia y desprendimiento de torbellinos lo que provoco que se comenzara a analizar el impacto del viento sobre las edificaciones y las estructuras.



En 1940, antes del derrumbe mencionado, el profesor Frederick Burt Farquharson, profesor de ingeniería de la Universidad de Washington, hizo pruebas de túnel de viento y recomendó algunas soluciones a fin de reducir las oscilaciones del puente. Farquharson construyó un modelo del puente a escala 1:200 y otro modelo, de un sector de la cubierta, a escala 1:20. Sus primeros estudios concluyeron cinco días antes del colapso del puente.

La primera referencia documentada respecto a la aplicación del túnel de viento para edificaciones data ya de 1893, cuando fue realizada por William Charles Kernot en Melbourne, Australia, para estudiar las fuerzas del viento sobre cubos, cilindros y cubiertas.

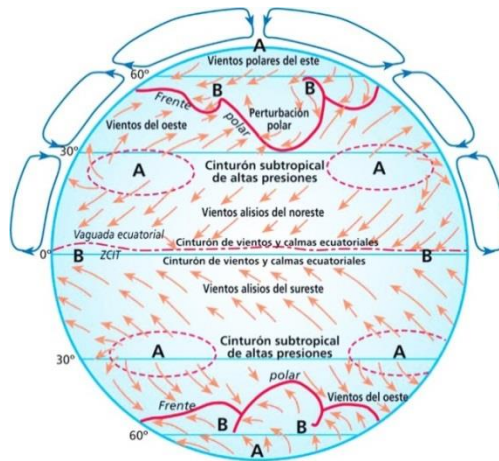
## **Viento en la arquitectura**

*Viento* (del latín *ventus*) es la corriente de aire que se produce en la atmósfera por causas naturales (Real Academia Española , 2012) y, por tanto, es un fenómeno meteorológico originado en los movimientos de rotación y traslación de la Tierra y su relación con respecto al Sol. La radiación solar genera diferencias de temperatura en la atmósfera, lo que da origen a las diferencias de presión y al movimiento del aire. Generalmente se define como *viento* al movimiento horizontal del aire, el cual tiene diversos atributos que lo caracterizan como son: dirección, frecuencia y velocidad.

- La dirección es la orientación de la que proviene el viento. Por lo general, las corrientes sufren cambios constantes de dirección reinante –que es aquella de donde proviene el viento con mayor frecuencia–. El instrumento con el que se mide la dirección del viento es la veleta.
- La frecuencia, expresada en porcentaje, define el número de veces (lecturas) que el viento se presenta en cada una de las direcciones. Por tanto, la mayor frecuencia es la que define la dirección reinante. (Rodríguez , 2008).







**Figura I.1. Patrones generales del viento.**

- La velocidad del viento es la distancia recorrida por el flujo de viento en una unidad de tiempo. De acuerdo al Sistema Internacional de Unidades, la velocidad se mide en m/s, sin embargo, desde el punto de vista meteorológico suele expresarse en km/h (en náutica y aeronáutica suele expresarse en nudos: milla náutica/hora; donde un nudo equivale a 1852 km/h). La velocidad del viento se mide con un anemómetro<sup>1</sup>.

El viento es un fluido muy sensible ya que presenta un comportamiento turbulento y un flujo no constante, por ello es importante tratar de visualizar los patrones que se presentan cuando el viento incide sobre algún objeto. En arquitectura, esta visualización puede hacerse a través de maquetas en túneles o cajas de viento, o a través de CFD<sup>2</sup>.

El viento es uno de los parámetros más importantes a considerar en la arquitectura, ya que constituye una de las estrategias de climatización pasiva más importantes con independencia del clima en el que se encuentre; ya sea en un clima cálido seco, húmedo, templado o frío, a través del diseño arquitectónico podemos captar el

<sup>1</sup> El anemómetro es un aparato meteorológico que se usa para la predicción del tiempo y, específicamente, para medir la velocidad del viento.

<sup>2</sup> Dinámica de fluidos computacional, generalmente abreviado como CFD, es una rama de la mecánica de fluidos que utiliza métodos numéricos y algoritmos para resolver y analizar problemas que involucran flujos de fluidos.

viento, controlarlo, canalizarlo, desviarlo o protegernos de él dependiendo del caso de que se trate. (Fuentes Freixanet, 2004)

El viento tiene un papel muy importante en la arquitectura, ya que nos permite tener un confort interior, es uno de los factores más indispensables para poder tener un óptimo desarrollo de las actividades humanas, mediante la adecuada ventilación de los espacios arquitectónicos.

La ventilación es la renovación del aire de los espacios que utiliza el hombre en su vida diaria. Se distinguen dos tipos de ventilación: la mecánica y la natural.

- La ventilación mecánica es aquella que requiere de equipos mecánicos para mover el aire dentro de los espacios, con la posibilidad de regular la temperatura y la humedad. El uso de estos sistemas de climatización implica un alto consumo de energía en las edificaciones, hasta de un cincuenta por ciento del gasto total energético (SEED, 2013).
- La ventilación natural, por el contrario, es aquella que implica el movimiento de aire interior de forma pasiva y por medios de convección natural o efecto de tiro (chimenea) generado por las diferencias de presión.

La ventilación tiene diferentes funciones dentro de las edificaciones:

- La renovación de aire interior por aire exterior.
- Confort térmico del ambiente, mediante el control del calor que producimos.
- Enfriamiento de la masa estructural del edificio durante la noche y la utilización de la masa enfriada para mantener la temperatura interna en la zona de confort.



Figura I.2. Líneas de corriente interactuando con un edificio. (Morales Cruz, 2013)

En la figura 2 se muestra el comportamiento del viento al impactar con un edificio rectangular, generando un cambio en la dirección del flujo que llamamos *vórtices* – esto es, un flujo turbulento que gira en torno a secciones de la superficie provocando corrientes de baja velocidad-.

La presión es generalmente positiva con respecto a la presión estática en la corriente de aire, sin interferencias en la superficie de barlovento<sup>3</sup> y negativas en sotavento<sup>4</sup>.

“Una vez definidos los conceptos de *viento* y *ventilación*, fundamentales para el análisis que aquí propongo, pasaré en el siguiente apartado a definir y acotar el problema que me ocupa en esta investigación.

## Planteamiento del problema

Cuando comenzaron a construirse rascacielos, el viento no era un factor que determinara o que influyera directamente en su composición. Sí lo eran, sin

<sup>3</sup> El término barlovento es la dirección de donde viene el viento, con respecto a un punto o lugar determinado.

<sup>4</sup> El término sotavento es la dirección opuesta de donde viene el viento, con respecto a un punto o lugar determinado.

embargo, el terreno de emplazamiento o los aspectos funcionales y económicos de la nueva construcción.

Con el paso del tiempo, el viento tomó un papel mucho más importante en el diseño y construcción de rascacielos. El principal motivo de este cambio fue la constatación de que cuanto mayor es la altura de un edificio, mayor es el impacto del viento sobre aquél. En los últimos cuarenta años, El Consejo de Edificios Altos y Hábitat Urbano (The Council on Tall Buildings and Urban Habitat)<sup>5</sup> ha sido la entidad más reconocida de edificios de altura, y la que determina el título de "El edificio más alto del mundo". El consejo mantiene tres definiciones para la medición de la altura del edificio (junto con numerosas definiciones relativas a la altura, función, importancia, etc.) que expongo en el siguiente apartado.

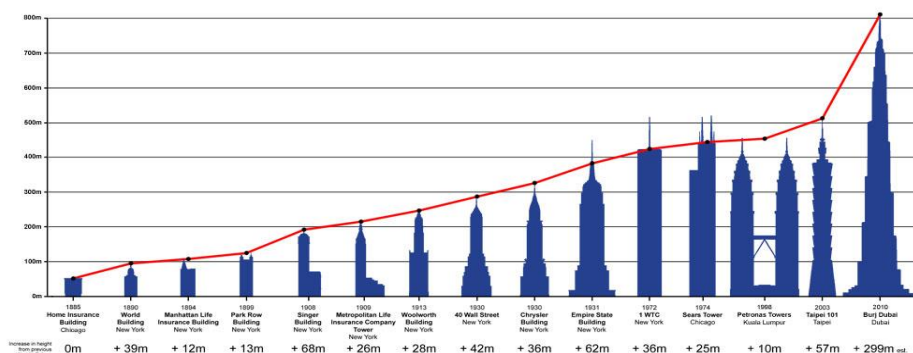


Figura I.3. Diagrama de los "edificios más altos del mundo" hasta la fecha. (Beedle, 2012)

## ¿Qué es un edificio alto?

No existe una definición absoluta de *edificio alto*, pero sí se puede establecer que un edificio presenta un elemento de "altura" atendiendo a las siguientes categorías:

<sup>5</sup> El Consejo de Edificios Altos y Hábitat Urbano (The Council on Tall Buildings and Urban Habitat) es un organismo internacional en el ámbito de los edificios altos y el diseño urbano sostenible. Una organización sin fines de lucro con sede en el Instituto de Tecnología de Illinois en la ciudad de Chicago, Illinois, Estados Unidos.

### a) Altura en relación al contexto

La altura no se basa sólo en la medición sino también en el contexto en el que existe dicha altura. Así, mientras que un edificio de catorce pisos no se puede considerar *alto* en una ciudad de gran altura, como Chicago u Hong Kong, en una ciudad europea, provincial, o suburbio, esto puede ser claramente más alto que la norma urbana.



Figura I.4. Altura en relación al contexto.

### b) Proporción

Un *gran edificio* no se mide sólo por la altura, sino también por la proporción. Hay numerosos edificios que no son particularmente altos, pero son lo suficientemente delgados para dar la apariencia de un edificio alto, especialmente frente a los bajos fondos urbanos. Por el contrario, hay numerosos edificios denominados *big/large* que son bastante altos, pero por la proporción de los niveles *size/floor* son descartados como edificio alto.



Figura I.5. Proporción.

### c) Tecnologías en los edificios altos

Si un edificio contiene tecnologías que puedan ser atributos en el sentido de la "vertical" (por ejemplo, tecnologías específicas de transporte vertical, contraventeo de refuerzo estructural como producto de la altura, etc.), entonces este edificio puede ser clasificado como *edificio alto*. Aunque el número de pisos es un mal indicador para la definición de un edificio alto debido al uso mixto de los espacios (por ejemplo, frente a la oficina de uso residencial) un edificio de catorce o más niveles, o de más de cincuenta metros de altura, se puede considerar como *edificio alto*. (The Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 2011).

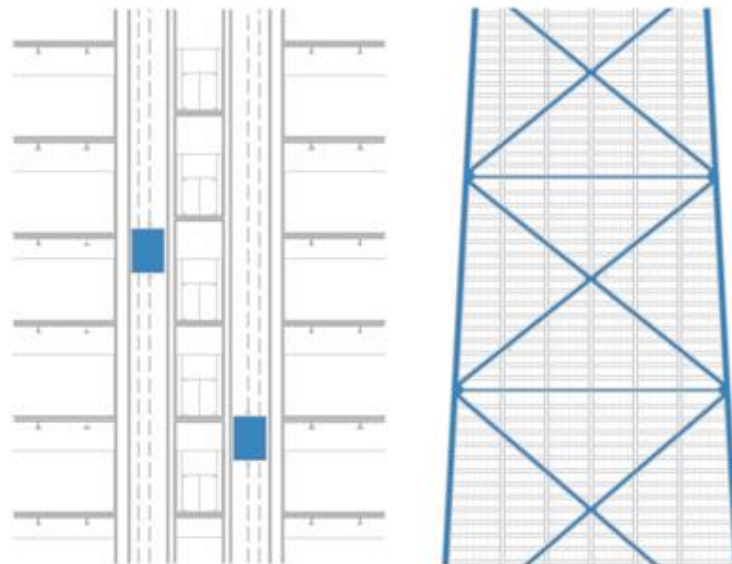


Figura I.6. Tecnologías de los rascacielos.

#### d) Edificios *Supertall* y Edificios *Megatall*

El CTBUH define *supertall* como un edificio de más de trescientos metros de altura, y un *megatall* como un edificio de más de seiscientos metros de altura. En la actualidad ya se han logrado construir edificios con más de ochocientos metros de altura. En junio de 2012 ya existían en el mundo sesenta y cinco edificios *supertall* y dos edificios *megatall* terminados y ocupados.

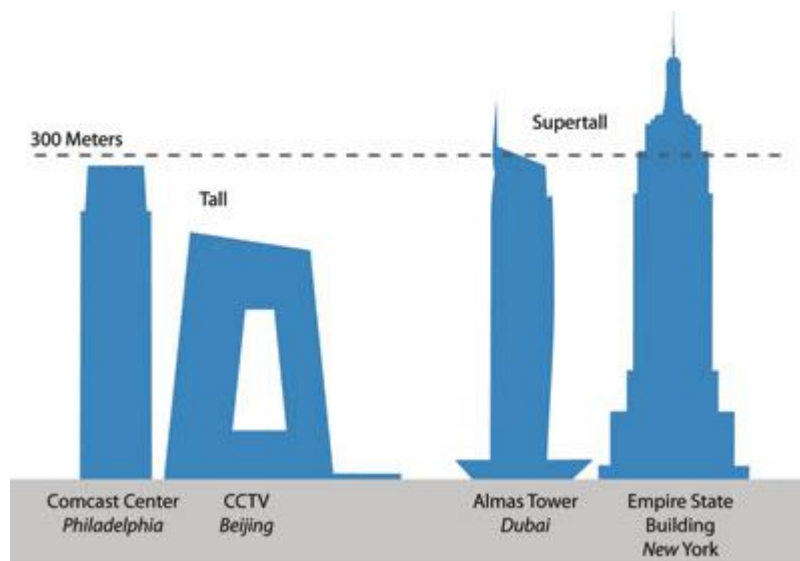


Figura I.7. Edificios *Supertall* y Edificios *Megatall*.

El viento como elemento de diseño es uno de los principales factores que se debe considerar en la creación y construcción de rascacielos, pues el viento puede y debe determinar su forma y altura.

A partir de que la altura en los rascacielos se tornó un factor de suma importancia desde el sentido estructural y arquitectónico, es cuando los efectos del viento se volvieron los parámetros que definían la forma y la altura de los rascacielos.

## Casos de estudio

Como ya he mencionado, en este trabajo analizo el comportamiento del viento en los rascacielos. A través de una metodología de diseño arquitectónico estableceré cuáles son las tendencias y configuraciones que considero más óptimas de los rascacielos. Para ello analizaré once diferentes edificaciones utilizando la metodología de evaluación y proyecto desarrollada por el Dr. Jorge M.A. Sánchez de Antuñano. Con dicha metodología se determinaron, cualitativa y cuantitativamente, las proporciones adecuadas para la proyección y desarrollo tipológico de los rascacielos.



Figura I.8. Casos estudio.

El análisis del comportamiento aerodinámico de los edificios, se logró por medio de su simplificación a formas geométricas básicas; esto se hizo con el fin de facilitar el desarrollo numérico y físico experimental. Los análisis constaron de dos técnicas de visualización del viento: la física y la numérica.

La prueba física de los modelos a escala se realizó en un túnel de circuito abierto tanto de forma aislada, esto a fin de mostrar el comportamiento del viento y su impacto en las superficies exteriores de la fachada estructural. La prueba numérica, por su parte, se realizó a escala semejante con software (CFD), para poder determinar de manera matemática los impactos del viento en las paredes perimetrales de los modelos.



## Justificación

Toda edificación arquitectónica impacta en el medio ambiente de muy diversas formas dependiendo de su magnitud y de su funcionamiento. El impacto de los rascacielos ha sido cuestionado desde su propia concepción; las consecuencias medioambientales del impacto que podría generar su construcción en las ciudades se ven cuestionadas por la sociedad en general pero, sobre todo, por el entorno profesional que en los últimos años, ha estado inmerso en un proceso de sensibilización para asumir una responsabilidad ambiental que integre los principios de la arquitectura bioclimática y del diseño responsable.

En la actualidad, las ciudades consideradas modernas cuentan con uno o varios rascacielos, en los cuales albergan viviendas, servicios autocontenidos, espacios de trabajo y de comercio, etc. -existen muchas más razones para construirlos-. El arquitecto estadounidense Cass Gilbert<sup>6</sup> los describió como máquinas para sacar el máximo provecho al suelo; y es que al analizar los rascacielos, podemos constatar qué tan importante ha sido su evolución técnica, simbólica y su proliferación geográfica en relación con el entorno. El resultado es un impacto positivo puesto que concentran gente y comercio en un espacio reducido, y eso propicia una alentada expansión urbana y una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera.

En este sentido, el rascacielos no dejará de ser construido, sino que sigue y seguirá existiendo en el futuro, sólo que tendrá que ser de una alta eficiencia y de una alta capacidad sostenible.

*“En el futuro seguramente consideraremos que los mejores rascacielos no son los más espectaculares si no los menos agresivos con el medio”.<sup>7</sup> (Wright, 2008)*

---

<sup>6</sup> Cass Gilbert fue un destacado arquitecto. Uno de los primeros defensores de los rascacielos en obras como el edificio Woolworth.

<sup>7</sup> Wright, H., 2008. Rascacielos imponentes edificios que se alzan en el cielo. Reino Unido: Parragon Books.



Es donde la importancia de la arquitectura bioclimática toma un papel muy importante para la creación de edificaciones altamente eficientes y que se adapten al medio natural en el que se desarrollaran.

### **Objetivo general**

Mi objetivo en esta investigación es determinar cuáles son las mejores tendencias arquitectónicas de los rascacielos en relación con el viento y obtener con ello una base metodológica de análisis y medición de los rascacielos, con el fin de lograr una alta eficiencia en el desarrollo futuro de esta tipología y una optimización de los recursos utilizados para su construcción y funcionamiento.

### **Hipótesis**

A través de técnicas de visualización en túnel de viento de circuito abierto de baja velocidad y de CFD, es posible analizar el comportamiento del viento en modelos a escala. Es posible determinar la configuración óptima, estructural-bioclimática, de los rascacielos a través del estudio del comportamiento del viento.

Mediante el estudio aerodinámico de los diferentes casos de estudio, en relación a su envolvente es posible optimizar la circulación del aire al interior y al exterior de los rascacielos. Con lo cual se lograra definir una configuración eficiente en relación al viento.

### **Conclusiones**

La tipología arquitectónica del rascacielos continuará construyéndose en el futuro de manera mucho más acelerada que en la actualidad, debido a los beneficios que ofrece a las ciudades: pues dentro de su configuración estructural y tipológica, los rascacielos logran contener a una gran cantidad de personas, comercios o servicios



centralizados que de otra forma generarían una modificación importante a nivel urbano. Dado que la concentración de estas masas propicia el desmedido aumento poblacional y urbano de las ciudades modernas, la centralización de los servicios en este tipo de edificaciones, proporciona un manejo mucho más eficiente de la energía utilizada para su funcionamiento, al establecer una red central de suministros que evita la larga transferencia de los elementos que lo complementan.

Según el último informe del CTBUH, en el mundo hay trescientos proyectos de edificios de más de doscientos metros de altura en construcción. China encabeza la lista de los países constructores de rascacielos con veintitrés edificios, seguida por Emiratos con dieciséis, Panamá con diez y Qatar con ocho. En 2011, diecisiete nuevos miembros ingresaron en la lista de países constructores de rascacielos a pesar de la crisis económica mundial. Mientras los edificios destinados a oficinas bajan en el ranking (hasta un cincuenta por ciento), los de usos mixtos y residenciales escalan posiciones, hasta llegar a ser el treinta y un por ciento de estas edificaciones.

China está en proceso de construcción de ciento ochenta edificios de más de doscientos metros de altura y aglutina al día de hoy el cincuenta y tres por ciento de los rascacielos más altos del mundo. El ritmo es de un nuevo rascacielos cada cinco días y, según el «Skyscrapers Magazine», en 2016 contará en su skyline con ochocientos gigantes, cuatro veces más que EE UU. Siguiendo las afirmaciones del estudio presentado recientemente por Barclays Capital, China tiene un gran problema. Este estudio manifiesta la malsana relación entre la construcción de rascacielos y los procesos de crisis económica. La concentración de edificios de altura coincide, según el estudio, con créditos de fácil acceso, aumentos en los precios de los terrenos y excesos de optimismo. A modo de ejemplo: la Willis Tower de Chicago se terminó antes de la crisis del petróleo de 1974; las Petronas de Malasia de 1997 solaparon su altura a la crisis asiática; y la coronación del techo mundial del Burj Khalifa en Dubai siguió en titulares a las dificultades del Emirato. Para Kevin Brass, editor periodístico del CTBUH, sus procesos de planificación, de

entre cinco y diez años, coinciden simplemente con los ciclos del capitalismo, aunque “el volumen de construcción en China no tiene precedentes”.

En la Antigua Roma, los edificios altos hacían a las clases más bajas en las cotas más altas. Al ver la carrera internacional por la altura, 2.000 años después, parece que quien quiere ser más moderno y potente, construye más alto, pero ¿es seguro?, y sobre todo ¿es rentable construir tan alto?

La ingeniería permite construir a gran altura -el Burj Khalifa supera los ochocientos metros-. La sostenibilidad de los rascacielos empieza por la racionalidad económica y ésta se tambalea a partir de los doscientos metros. El mayor consumo energético de un rascacielos es el de los ascensores y, partir de doscientos cincuenta metros de altura, su construcción supone también mucho espacio en planta. La rentabilidad viene retribuida por el aprovechamiento del espacio y en Dubái, en las plantas superiores, el noventa por ciento del espacio no se usa, explica Luis de Garrido, presidente de la Asociación Nacional para la Arquitectura Sostenible y coautor del libro de próxima aparición “Rascacielos Bioclimáticos”.

Mi conclusión es que los rascacielos de entre doscientos y doscientos cincuenta metros de altura son una buena solución porque concentran el impacto medioambiental en un menor territorio. Sin embargo, éstos no deben planificarse de manera aislada, sino que deben rodearse de espacios públicos y ser polifuncionales: «No pueden ser tótems en el desierto. Construir en altura significa densificar los servicios pero tiene que proyectarse un espacio público generoso», explica Enric Massip, miembro del Colegio de Arquitectos de Cataluña y autor de la *Torre Telefónica* de Barcelona. De Garrido va más allá: “De seis manzanas, cinco deben ser verdes. Los rascacielos concentran el impacto pero si hay sobreexplotación del terreno volvemos a sumar impacto. También es bueno hacerlos gemelos para posibles evacuaciones.” Brass coincide: “Las ciudades se quedan sin espacio. Para manejar la explosión demográfica hay que crecer, pero la calidad de los edificios no es lo único, deben ser parte de un plan urbano”. En este sentido, para José Ma. Ezquiaga, arquitecto recientemente premiado por el Colegio de Arquitectos de

Madrid por su diseño de prolongación de la Castellana, explica “no hay que tenerles miedo; el uso intensivo de suelo ayuda al uso de transporte público, pero deben prevalecer criterios funcionales y no sólo simbólicos. En Europa, cuando entre en vigor la normativa de edificios de energía casi nula, los rascacielos tendrán que contar con fachadas que reduzcan el consumo y generen energía. El rascacielos de cristal en cualquier sitio desaparecerá”. (M. Rull, 2012).

Evidentemente las tendencias nos indican que los rascacielos seguirán siendo una tipología relacionada con el poder de los países, sin embargo no debería de ser la única característica que defina la construcción y creación de este tipo de edificaciones. Si no por el contrario, deberían de estar vinculados a una tendencia mucho más amigable, que respondan a las necesidades de densificación urbana del crecimiento poblacional y estar definidos por factores medioambientales.



# Capítulo II.

## EL ORIGEN DE LA TIPOLOGÍA DEL RASCACIELOS

Capítulo 2. En este capítulo voy a abordar los aspectos fundamentales del surgimiento de los rascacielos -su historia, desarrollo y evolución-, y la importancia del impacto del viento como elemento de diseño y determinación de la tipología de las edificaciones. Así mismo, hablaré al respecto de la poca importancia bioclimática de los rascacielos en su desarrollo y construcción de los aspectos tecnológicos que propiciaron que los rascacielos se consideren la tipología del futuro y de sus implicaciones como espacio de evolución en las actividades humanas.



## Introducción

El primer habitante de Chicago fue Jean Baptiste Point du Sable<sup>8</sup>, un comerciante de pieles de Santo Domingo de origen francoafricano. DuSable construyó el primer asentamiento en 1779, en la desembocadura del río Chicago. En 1830, se vendieron terrenos para financiar la construcción de lo que se convertiría en el canal Illinois-Michigan que conecta a Chicago con el río Mississippi. Tres años más tarde, con una población en auge de trescientos cincuenta habitantes, se estableció el pueblo de Chicago.

En 1837, al alcanzar una población de 4.170 habitantes, el pueblo de Chicago se constituyó en ciudad y consolidó su rol como centro de transportes en 1848, cuando se terminó de construir el canal Illinois-Michigan de cien millas y llegó la primera locomotora del ferrocarril Galena & Chicago Union Railroad<sup>9</sup>. La población se triplicó en los tres años siguientes: el acceso al transporte jugó un papel esencial en el desarrollo de Chicago.



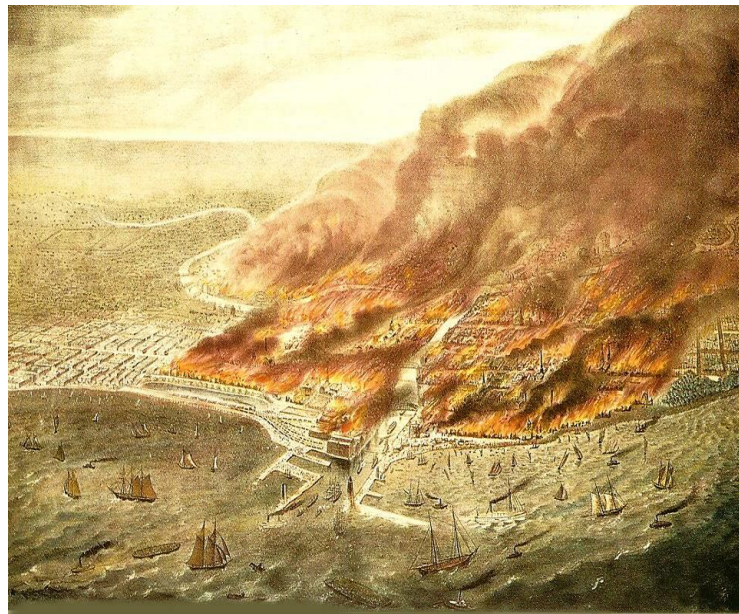
**Figura II.1. Chicago antes del gran incendio. Chicago 1871.**

<sup>8</sup> Jean Baptiste Point du Sable, es considerado como el primer residente permanente de Chicago, Illinois.

<sup>9</sup> The Galena and Chicago Union Railroad (G&CU), fue un ferrocarril en dirección oeste desde Chicago a Clinton, Iowa y Freeport, Illinois, sin llegar nunca a Galena, Illinois. Constituida en 1836, el G & CU se convirtió en el primer ferrocarril construido a Chicago.



El domingo 8 de octubre de 1871, un incendio se propagó desde el West Side. Para el martes en la mañana, el Gran Incendio de Chicago<sup>10</sup> se había cobrado trescientas vidas, había dejado sin hogar a 90.000 habitantes de la ciudad y había destruido bienes materiales por un valor de doscientos millones de dólares. Este desastre pasó a ser una gran oportunidad para planificar y reconstruir toda la ciudad. (Greatchicagofire, 2011)



**Figura II.2. Incendio de Chicago, vista aérea litografía 1871. Litografía de William Flint.**

A mediados del siglo XIX, por una serie de factores coincidentes -entre ellos la accesibilidad gracias al ferrocarril y el posterior florecimiento de las fábricas, había moldeado la ciudad fronteriza de Chicago, en palabras del historiador Lewis Mumford, "una red de brutal de necesidades industriales".

---

<sup>10</sup> El Gran Incendio de Chicago fue un incendio que ardía desde el domingo, 8 de octubre hasta principios de Martes, 10 de octubre 1871, matando a cientos y destruyendo cerca de 3.3 millas cuadradas (9 km) en Chicago, Illinois. Aunque el fuego fue una de los más grandes de Estados Unidos desastres del siglo XIX, la reconstrucción que comenzó ayudó a desarrollar Chicago como uno de los más poblados y económicamente importantes ciudades de Estados Unidos.



## Origen del rascacielos.

En la historia del origen y formación de la ciudad de Chicago se pueden identificar diferentes factores que influyeron en su crecimiento. Detallo a continuación los más importantes:

- El primer factor fue el elevadísimo costo del suelo para la construcción. La única forma de sacar rendimiento a las costosas parcelas del centro era construir más plantas en los mismos metros cuadrados. La población de Chicago se duplicó entre 1880 y 1890, y durante esa misma década los precios inmobiliarios en el centro de la ciudad se dispararon desde los 130,000 dólares por acre trimestral hasta los 900,000 dólares. La densidad de la ciudad se vio agravada aún más por la geografía: Chicago fue encerrado en una pequeña área de nueve bloques y limitado por el río Chicago -al norte y al oeste- y el lago Michigan y el depósito de trenes hacia el este y el sur. (Dupré, 1956).

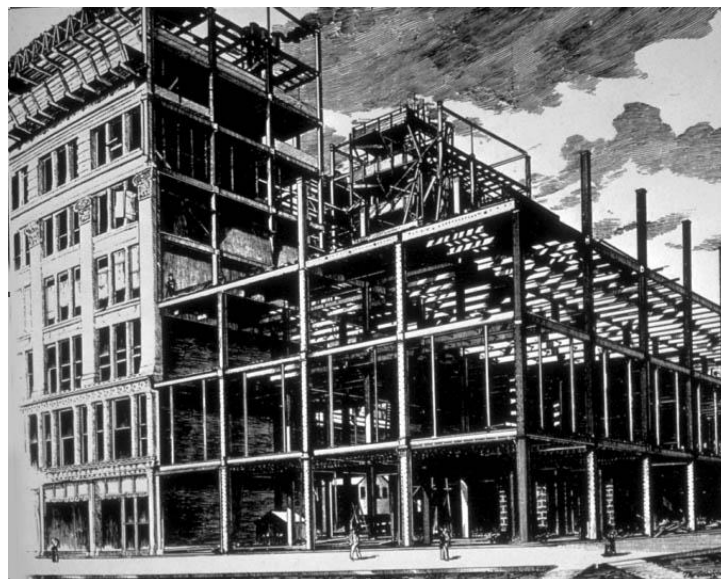


Figura II.3. Vista del centro financiero de Chicago, después del gran incendio.

Es comprensible, por tanto, que el nacimiento de los rascacielos se sitúe en Chicago a partir de 1890, en cuya época la ciudad de los vientos estaba en pleno crecimiento. Poco a poco se convirtió en una metrópoli tumultuosa: con el aumento

poblacional, las actividades se vieron cada vez más especializadas, transformándose en una ciudad de oficinas con un alto potencial para desarrollarse como sede para las grandes empresas y propiciando a su vez que se elevara el valor del suelo edificable -que en el caso de la parte céntrica alcanzó niveles muy altos-.

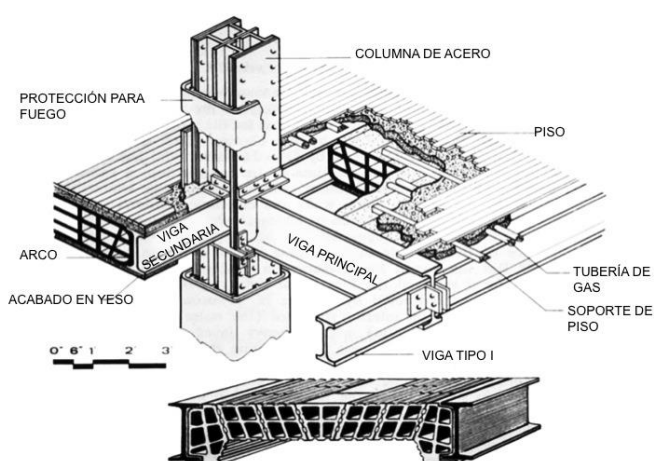
- El segundo factor que influyó de forma decisiva en el desarrollo y crecimiento de la ciudad de Chicago fue el descenso en el precio del acero como consecuencia del creciente desarrollo industrial del país. El acero permitió abandonar las pesadas estructuras de ladrillo y hormigón, y dio paso a edificios más ligeros pero igualmente resistentes; esto fue consecuencia del crecimiento industrial de la ciudad e impactó directamente en el desarrollo vertical de la misma con sistemas constructivos en acero (esqueleto estructural), y cerramientos de muros cortina en cristal (envolvente). Este nuevo sistema de construcción propició elevar mucho más las edificaciones ya que además permitía una altura mayor entre los diferentes niveles respecto de los sistemas tradicionales de construcción realizados con piedra, ladrillo y madera. el desarrollo de la iluminación artificial y la generalización del aire acondicionado, entre otros factores, contribuyó también a que los rascacielos fuesen cada vez más altos.



**Figura II.4.Fair Building William Le Baron Jenney 1891.**

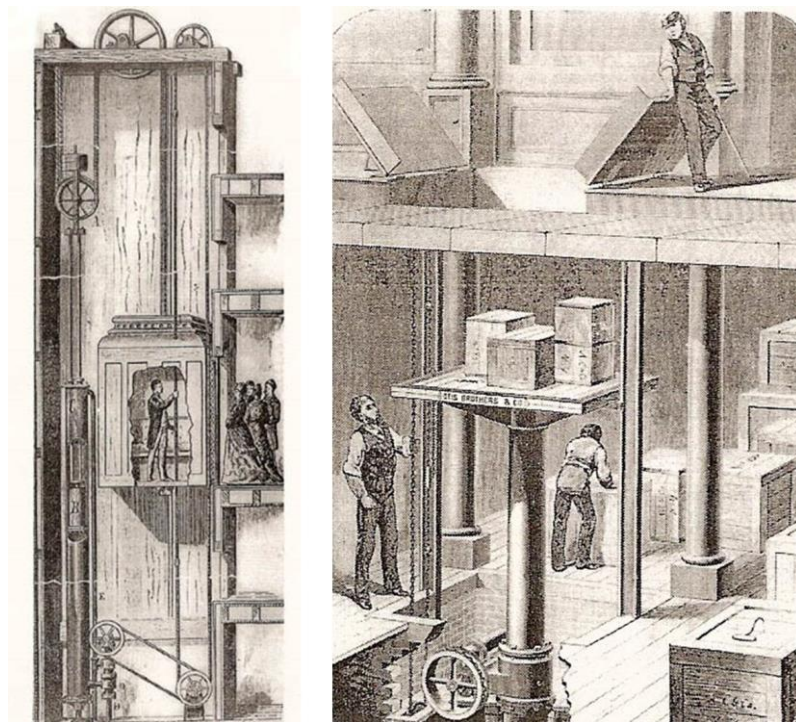
El desarrollo de acero barato -versátil en la segunda mitad del siglo XIX- cambió el desarrollo de la arquitectura. Estados Unidos estaba en medio de un rápido crecimiento económico y social que propició grandes oportunidades en el diseño arquitectónico. Se estaba consolidando una sociedad mucho más urbanizada, la cual era el caldo de cultivo perfecto para nuevos y más grandes edificios.

La producción masiva de acero era la principal fuerza impulsora detrás de la capacidad de construir rascacielos a mediados de la década de 1880. El pueblo del medio oeste de Estados Unidos sentía menos presión social para ajustarse a las formas y estilos del pasado arquitectónico. Al ensamblar un marco de vigas de acero, los arquitectos y constructores -de forma repentina- pudieron crear edificios altos y esbeltos con un esqueleto de acero relativamente fuerte y delicado a la par. El resto de los elementos del edificio -paredes, pisos, techos y ventanas- fueron suspendidos del acero, que llevaba el peso de la edificación. Esta nueva forma de construcción de edificios -la llamada "columna-marco" de la construcción- los proyectó hacia arriba en vez de hacia fuera. El acero de soporte permitió que los edificios fueran no sólo más altos, sino también con ventanas mucho más grandes, lo que significa más luz del día llegando a los espacios interiores. Las paredes interiores se convirtieron en más delgadas, lo que crea más espacio utilizable. (BRITANNICA, 2013).



**Figura II.5. Detalle Fair Building William Le Baron Jenney 1891.**

- Un tercer factor fue la invención del ascensor. El desarrollo de la tecnología fue uno de los factores más importantes para que la ciudad creciera cada vez más. La creación del ascensor facilitaba el desplazarse más rápido que por las escaleras, posibilitando a su vez que los edificios fueran cada vez más altos. Elisha Graves Otis<sup>11</sup> inventó en 1852 el primer freno de seguridad para ascensores. En el año 1857, Otis instaló el primer ascensor de vapor con freno de seguridad en un edificio de cinco plantas. Para 1872, C. W. Baldwin<sup>12</sup>, que trabajaba para la compañía Otis, inventó el elevador hidráulico de engranajes, los cuales sustituyeron rápidamente a los de vapor. Los ascensores hidráulicos funcionaban gracias a la presión del agua que suministraban directamente las tuberías de la red de abastecimiento municipal, o mediante la fuerza de una bomba de agua instalada en un tanque de almacenamiento ubicado en lo alto del edificio.



**Figura II.6. Otis pistón (izquierda) y el émbolo (derecha) ascensores hidráulicos.**

<sup>11</sup> Elisha Graves Otis, fue un inventor de Estados Unidos de un dispositivo de seguridad para elevadores y fabricante de ascensores.

<sup>12</sup> C. W. Baldwin, un trabajador de la compañía Otis, construye en Chicago el primer ascensor hidráulico en 1870.



Otis comenzó a producir ascensores hidráulicos en 1874. Después de instalar este tipo de elevadores en unos cuantos edificios, las compañías comenzaron a pagar sumas cada vez más sustanciales por las plantas de altura en detrimento de las bajas, -preferidas hasta entonces-. Esto supuso un vuelco radical en las operaciones inmobiliarias. De pronto, las “cómodas” plantas bajas -accesibles fácilmente por escaleras- comenzaron a ser vistas como demasiado ruidosas y polvorientas<sup>13</sup>. Un elevador como los que venimos mencionando, empleaba típicamente un motor hidráulico consistente en un pistón dentro de un cilindro. La cabina del ascensor se suspendía de cables. El motor hidráulico del ascensor se controlaba tirando de las cuerdas que pasaban a través de la cabina de pasajeros. Una segunda variación del ascensor hidráulico consistía en una plataforma ubicada directamente sobre un pistón rígido. Esta variedad era más utilizada como montacargas. El problema de estos últimos era que el eje tenía que enterrarse en la tierra a una profundidad igual a la de la altura que debía alcanzar en su subida. Esto por supuesto limitaba mucho la altura máxima que podía conseguirse, aunque en 1902 Otis instaló montacargas de esta clase en edificios de hasta veinticinco plantas.

Hasta 1904 los elevadores hidráulicos fueron el sistema dominante en los edificios altos. No obstante, a finales de la década de 1880, habían comenzado ya a instalarse los primeros ascensores eléctricos de engranajes, los cuales eran sólo aptos para edificios de poca altura debido a su extremada lentitud. Este inconveniente les impedía competir en igualdad de condiciones con los hidráulicos, y así fue hasta que llegó el cambio de siglo.

En el año 1904, la empresa Otis Elevator Co. instaló las primeras máquinas con tracción eléctrica sin engranajes, que inmediatamente convirtieron a los hidráulicos en obsoletos. Estos ascensores, rápidos y con límites de altura muy elevados, revolucionaron la construcción de los rascacielos y permitieron la llegada en los años veinte de rascacielos de más de cien plantas de altura, como el mítico Empire State Building. Su funcionamiento era tan óptimo que en el año 1948 seguían siendo considerados el estándar. (Museum, 2000)

---

<sup>13</sup> <http://www.officemuseum.com/>



## **La tipología del rascacielos**

La historia de los rascacielos como una estructura de innovación, se dio por una combinación entre la necesidad económica y la industrialización, lo cual desembocó en el edificio estadounidense de oficinas.

Los primeros rascacielos respondían principalmente a una necesidad económica y sus innovaciones se vieron impulsadas por la actividad empresarial. Este desarrollo surge como parte del crecimiento de la ciudad y de los negocios, generando actividades comerciales altamente aceleradas por la gran acumulación de personas lo que propició, a su vez, que el suelo urbano fuera cada vez más caro.

La composición estructural de los primeros edificios altos estaba determinada por prioridades económicas, de eficiencia, el tamaño y la rapidez de su construcción, lograr cubrir la estructura de la manera menos costosa, etc. Esto es, su diseño nació de exigencias prácticas. (Huxtable, 1982).

Las relaciones humanas cambiaron y su desarrollo propició que grandes empresas ocuparan la parte más alta de los edificios, en los cuales las aristocracias dirigentes de las grandes corporaciones de las industrias automovilística y financiera, tuvieran su sede en la ciudad cambiante. (Terranova, 2003).

La producción en serie en diversos campos de fabricación, como los espacios mismos y el mobiliario, marcado fuertemente por la Primera Guerra Mundial, generó una apariencia cuadrada y estandarizada de las actividades laborales, que sólo “cambió” a finales de los años sesenta. En esa época, el avance de ciertos campos, como el de la psicología y el de las relaciones humanas, contribuyó a que los trabajadores tuvieran un entorno formativo en las oficinas.

Todos los factores anteriores propiciaron la aparición de la oficina como espacio cerrado y poco flexible que atiende las demandas de los usuarios. En medio de este



contexto de prácticas sociales se dio un importante cambio en el paradigma del proyectar arquitectónico y de la concepción del espacio de trabajo como meramente trabajo: las nuevas relaciones laborales propiciaron una evolución en el pensar humano, así como el desarrollo de nuevos artefactos y la transferencia de información de una empresa como medio de desarrollo y de eficiencia en el trabajo. Todo este intercambio de ideas dio origen a un desarrollo mucho más prolífico de cuestiones tecnológicas.



**Figura II.7 Oficina típica en Chicago, 1900.**

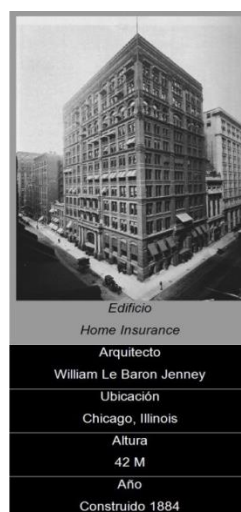
La primera etapa de la historia, desarrollo y evolución de los rascacielos, nos habla de características muy importantes que determinaron su transformación a lo largo de sus primeros veinte años. El Home Insurance Building<sup>14</sup> -construido en 1884 en

---

<sup>14</sup> El Home Insurance Building fue construido en 1885 por William Le Baron Jenney en Chicago, con una altura de 42 metros. Fue el primer rascacielos por el uso de acero estructural en el mundo.

Chicago, Illinois, por el arquitecto William Le Baron Jenney<sup>15</sup>, fue el edificio que se consideró el primer rascacielos debido al uso de acero en su marco estructural. Es además, el primer edificio de altura con apoyos -tanto dentro como fuera- en una estructura metálica a prueba de fuego.

En este edificio, las paredes eran finas y se colgaban de los marcos de acero. Las paredes exteriores ya no eran parte del soporte del edificio y podían ser sustituidas por cristales del tamaño deseado. La recientemente inventada iluminación eléctrica contribuía a que el conjunto se transformase en un nuevo, completo y revolucionario tipo de construcción. Con la técnica de engarces de hierro a base de pilares, vigas y entramados recubiertos de una sustancia protectora contra el fuego, se lograron edificios de muchos pisos sin necesidad de que las columnas fuesen muy amplias, permitiendo al sistema eliminar casi por completo el muro de carga.



**Figura II.8. Edificio Home Insurance, William Le Baron Jenney.**

La idea práctica de los rascacielos, que como se viene planteando surge en la ciudad de Chicago, será trasladada posteriormente a la isla de Manhattan. En este nuevo lugar, las construcciones de altura experimentaron una evolución en la composición de su altura y desarrollo, conformando una ciudad de rascacielos y dando origen a un sin número de nuevas edificaciones. La razón por la que llegó a

---

<sup>15</sup> William Le Baron Jenney (1832-1907). Fue un arquitecto e ingeniero estadounidense. Creó el primer rascacielos, el Home Insurance Building, con las nuevas técnicas de construcción en acero, por lo que fue el precursor de la llamada Escuela de Chicago.



ser rentable la construcción de rascacielos es que, como consecuencia del desarrollo de la industria siderúrgica de Estados Unidos, el costo del acero -y con ello la construcción de estructuras de acero- se redujo drásticamente durante finales del siglo XIX, por lo que se compensaba el alto costo de construir más pisos. La producción en masa de acero se inició en la década de 1870. Bolton (1900) informó de que el esqueleto de acero de un edificio de oficinas pesaba de quince a dieciocho toneladas, un peso de construcción total de 10.000 a 12.000 toneladas. La siguiente tabla presenta datos de 1896 del Informe Estadístico Anual de la American Iron and Steel Association, en el que se muestra la caída de los precios del acero desde 1867 hasta 1895. (Museum, 2000).

1867	1870	1875	1880	1885	1890	1895
\$166	\$107	\$69	\$68	\$29	\$32	\$24

**Tabla II-1. Informe Estadístico Anual de la American Iron and Steel Association muestra la caída de los precios del acero desde 1867 hasta 1895.**

El edificio Flatiron -construido en Nueva York en 1902- tenía ochenta y siete metros de altura, lo que lo convertía en un edificio de desarrollo vertical high-rise building<sup>16</sup>. Con una peculiar composición triangular que respondía a la particularidad del terreno de emplazamiento, el Flatiron es uno de los edificios más antiguos de Manhattan y expresa la máxima verticalidad alcanzable de la época, caracterizada por la escuela de Chicago, con una continuidad de las edificaciones hacia la composición triangular en el sentido vertical.

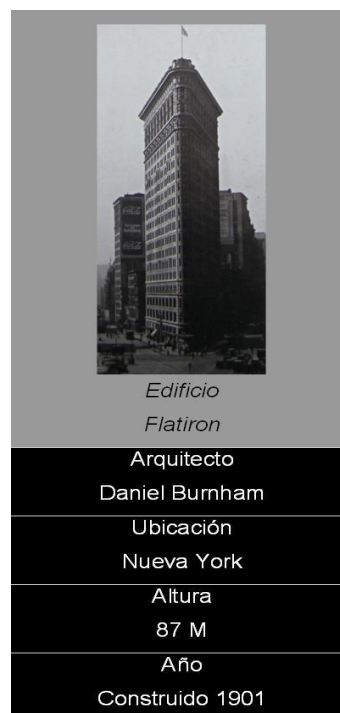
Un ejemplo de lo anterior es el edificio Woolworth de Cass Gilbert de 1913. Su apariencia de arquitectura neogótica y sus cincuenta y nueve pisos, hicieron que mantuviera el record de altura en el mundo entre los años 1913 y 1930. Parte de su composición estructural está hecha de acero y cuenta con un sistema de caja y con la conformación triangular en el sentido vertical lograda por el escalonamiento de sus diferentes niveles.

---

<sup>16</sup> High-rise Building, es un alto edificio o estructura utilizada como residencial y / o edificio de oficinas.



Pocos años pasaron para que se desarrollaran nuevos edificios rascacielos, como el Chrysler en 1930 y el Empire State en 1931. Éste último se estableció como el más alto del mundo por muchas décadas y se transformó en un ícono central dentro de la ciudad de Nueva York y el país. La reglamentación urbana ponía muchas limitaciones a la explotación del terreno; por ejemplo, en la quinta avenida sólo se podía construir hasta una altura aproximada de treinta y ocho metros. La altura máxima sólo se podía alcanzar en el centro de la superficie base, sobre poco más de una cuarta parte de la misma y, lo que era aún más restrictivo, los rascacielos debían adoptar la forma escalonada o triangular en el sentido vertical.



**Figura II.9. Edificio Flatiron.**

Así, para la construcción del Empire State, la organización de la obra parecía a primera vista imposible por falta de espacio, puesto que no se podían ocupar las calles adyacentes. En su versión original, este rascacielos era sólo un poco más elevado que su predecesor, el edificio Chrysler.

A lo largo de 50 años de historia en Nueva York, los rascacielos presentaron una evolución marcada, desde el propio Edificio Flatiron construido en 1901 hasta el concebido por F.L. Wright en los años cincuenta, el proyecto visionario y “utópico” del rascacielos de una milla de altura (1600 metros) que era parte de una ciudad de baja densidad, denominada Broadacre City. (Terranova, 2003).

La presencia de estas edificaciones ya no sólo estaba latente en Estados Unidos pues la tipología de los rascacielos empezó a transportarse a Europa y el fenómeno se abrió camino hasta la parte asiática, donde se tomó como una nueva opción de desarrollo.

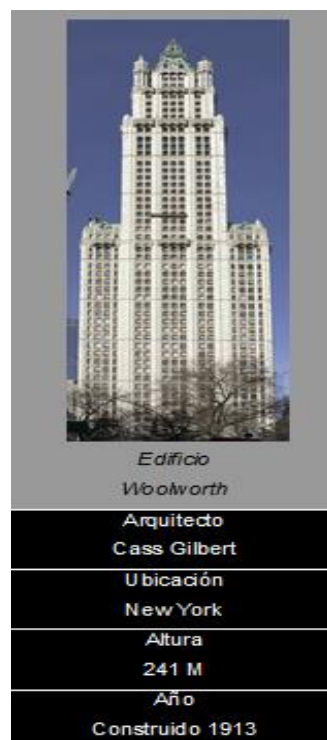


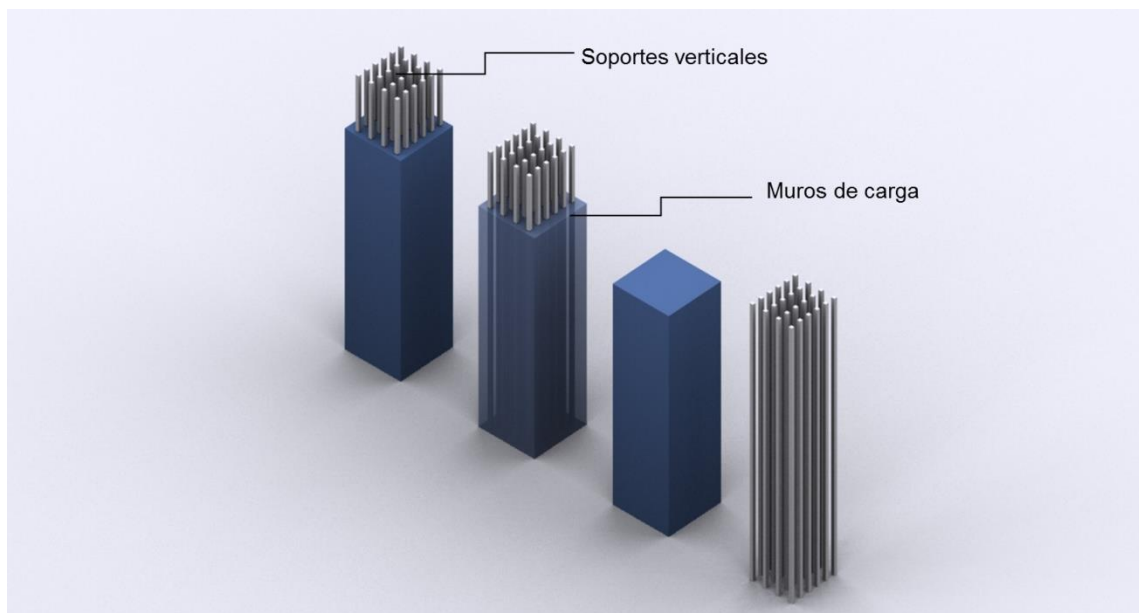
Figura II.10. Edificio Woolworth.

## Tipologías estructurales de los rascacielos

La evolución de la tipología de los rascacielos está definida por los avances tecnológicos. En un principio los sistemas constructivos permitían edificar hasta un máximo de cinco niveles, los materiales utilizados en la época de 1831 eran piedra y

madera, pero hoy en día encontramos tantas opciones de materiales para su construcción, que esto ha permitido alcanzar alturas de más de quinientos metros.

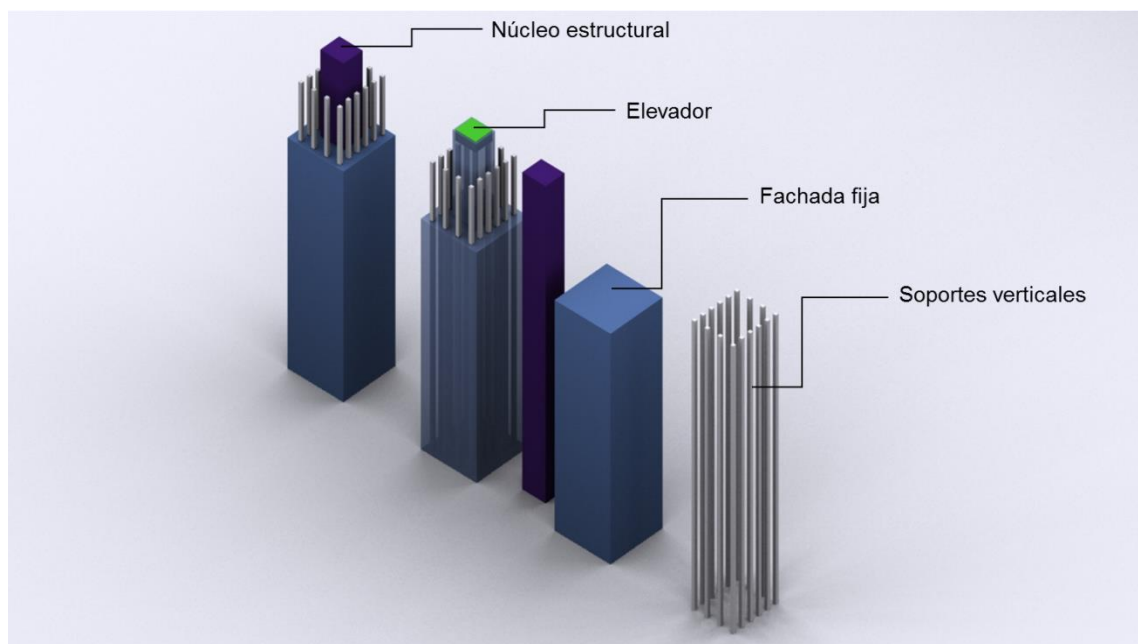
Debido a su altura y a las acciones horizontales del viento y de los sismos, su estabilidad lateral es un componente principal de la edificación. Los sistemas de muro de carga, núcleo con esqueleto estructural, tubo en tubo, núcleo y combinaciones de ellos, permiten soportar las grandes exigencias de los vientos y los sismos en las edificaciones de gran altura.



**Figura II.11.Muro de carga y columnas en retícula.**

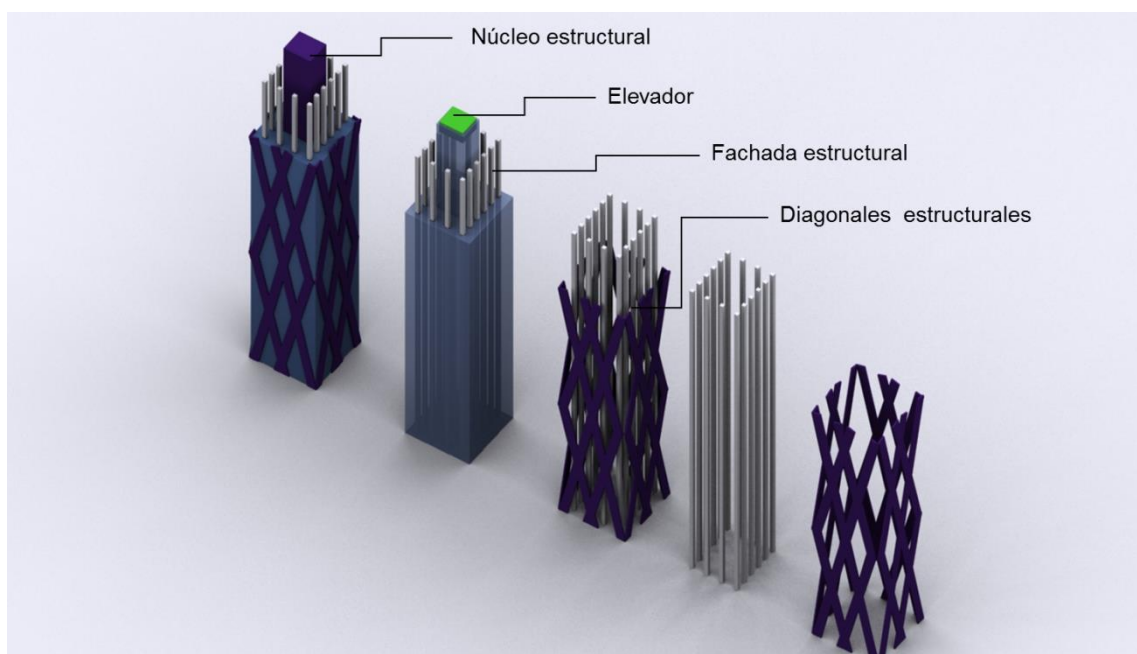
El sistema puede ser construido usando acero, concreto, o con una construcción compuesta (el uso discreto de acero y concreto). Se puede utilizar en edificios de oficinas, de apartamentos o de uso mixto. La mayoría de los edificios de más de cuarenta plantas de estructura construidos desde la década de 1960 son de este tipo estructural. Los sistemas de tubo se basan en la creación de una estructura con columnas en la fachada poco separadas que se unen con las vigas en cada piso. Los elementos arquitectónicos de tipo vertical se vuelven estructurales, creando un sistema que actúa como un tubo perforado o una caja rígida que se proyecta en voladizo desde el suelo, bajo la acción de las fuerzas horizontales.

Este sistema es denominado también de “fachada resistente”. Las columnas trabajan básicamente a tensión o compresión, suministrando la capacidad de volcamiento de la estructura, sin momentos flexionantes.



**Figura II.12. Núcleo y esqueleto estructural.**

El sistema de tubo en tubo, por su parte, combina la fachada resistente con un núcleo rígido de concreto reforzado: los dos sistemas se unen mediante un conjunto de vigas en cada piso. La planta básica de cada una de las Torres Petronas en Malasia tienen este sistema y su resistencia está altamente reforzada por columnas circulares de concreto ubicadas en el polígono cerrado exterior unidas al núcleo central por donde se disponen los ascensores y escaleras de las torres.



**Figura II.13. Tubo en tubo**

El edificio John Hancock Center es un rascacielos ubicado en la ciudad de Chicago que tiene una composición estructural de tubo en tubo, con cien plantas y 344 metros de alto. El edificio fue diseñado por el ingeniero estructural Fazlur Rahman Khan<sup>17</sup> y el arquitecto estadounidense Bruce Graham<sup>18</sup> -de la firma de arquitectos Skidmore, Owings and Merrill- y, cuando se terminó de construir en 1969, era el rascacielos más alto del mundo fuera de Nueva York. Su estructura reforzada con diagonales estructurales, permitió economizar acero en la construcción, y conseguir que el edificio resista vientos de hasta 193 km/h.

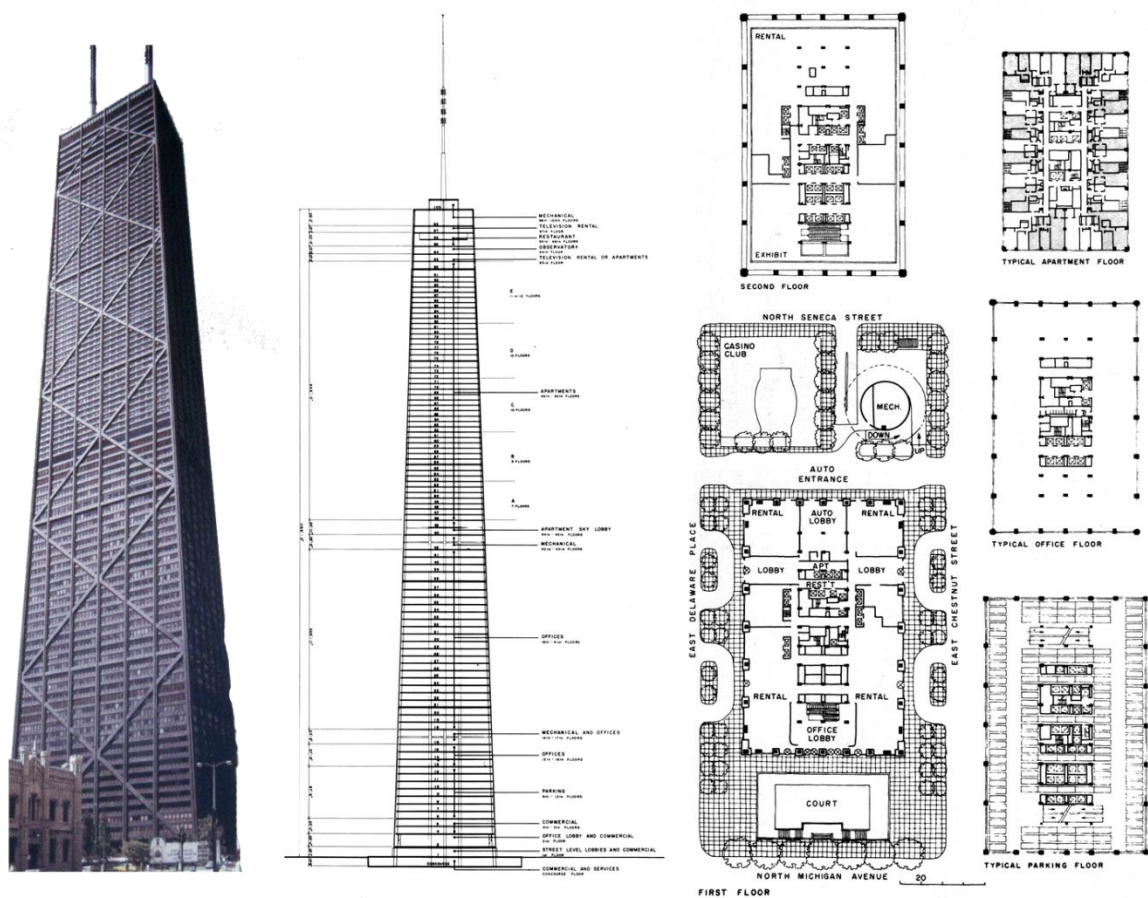


Figura II.14. Planos del edificio John Hancock Center.

<sup>17</sup> Fazlur Rahman Khan, fue un bangladeshí ingeniero estructural y el arquitecto, quien inició los sistemas estructurales que forman la base de la construcción de edificios altos en la actualidad. Considerado el "padre de los diseños tubulares" de los rascacielos, Khan se convirtió en un icono de la arquitectura y la ingeniería estructural.

<sup>18</sup> Bruce Graham fue un arquitecto colombiano naturalizado estadounidense nacido de padre escocés y madre peruana. Entre sus edificios más notables destaca la torre Sears, el edificio Island Steel, y el John Hancock Center.



El edificio Sears -renombrada actualmente como Torre Willis- es un rascacielos de 442 metros en Chicago, Illinois. En el momento de su inauguración, fue el edificio más alto del mundo, sobrepasando el World Trade Center de Nueva York, y continuó siéndolo durante más de veinte años. Con sus 442 metros (sin contar las antenas), está conformado por un sistema estructural de tubo agrupado, con tubos cuadrados de veintidós metros y medio de lado, separación de columnas de cuatro metros y medio y empaquetado en nueve áreas o tubos, los cuales además, se interrumpen a diferentes alturas sin afectar la integridad estructural del edificio.

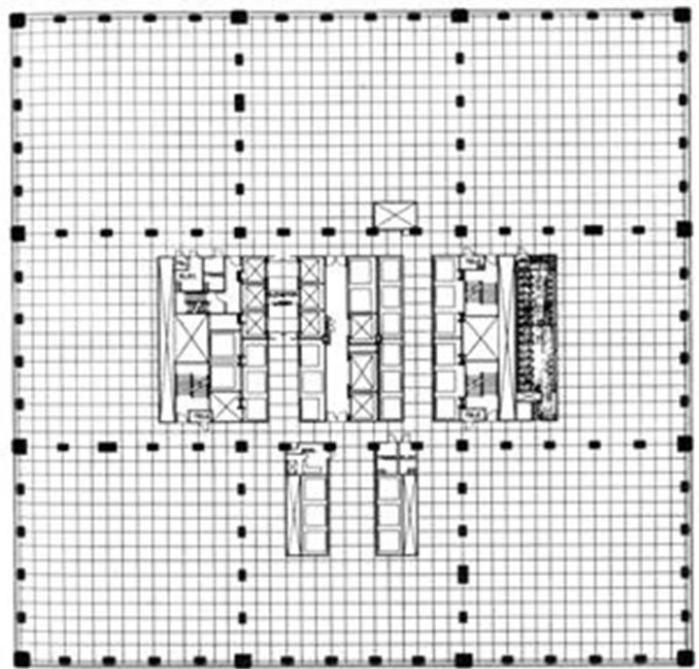
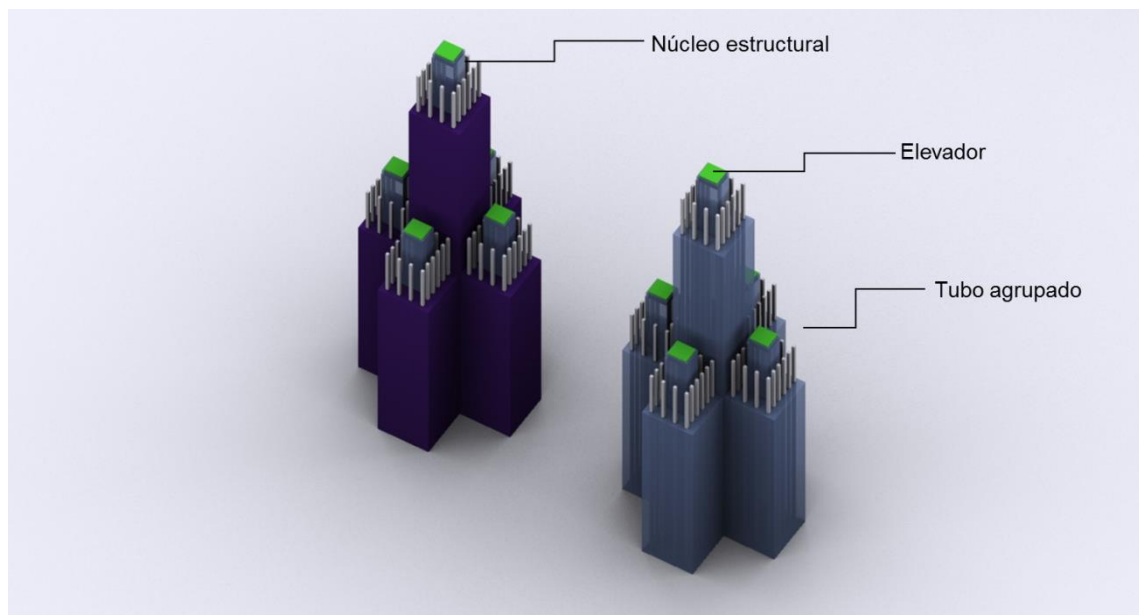


Figura II.15. Torre Sears y su composición estructural de tubos agrupados.



La construcción de un edificio alto requiere de un trabajo en equipo muy cuidadoso, ya que además de las consideraciones del sistema estructural para soportar las fuerzas horizontales y las necesidades arquitectónicas, éstos contienen grandes y costosos sistemas verticales de transporte de personas, y sistemas eléctricos y mecánicos de suministro de energía, de comunicación, información, enfriamiento y/o calefacción, que requieren grandes alturas de entrepiso para poder disponer de ellos fácilmente durante la construcción y su mantenimiento posterior.



**Figura II.16. Tubo agrupado.**

Además de la ubicación de los sistemas electromecánicos antes mencionados, deben tomarse en cuenta factores tales como: el sistema estructural adecuado para soportar las acciones horizontales, el área de cada piso, la altura total del edificio - número de pisos-, la altura del entrepiso -que permita disminuir las congestiones de ductos para servicios-, los claros -los arquitectos suelen buscar grandes claros para tener espacios más libres y flexibles- y los materiales estructurales y no estructurales.

Puede decirse que existe, tecnológicamente hablando, la posibilidad de construir edificios de mil metros de altura. Sin embargo, los problemas de concentrar 20.000 o 30.000 personas en un espacio tan reducido, los nuevos problemas del terrorismo y

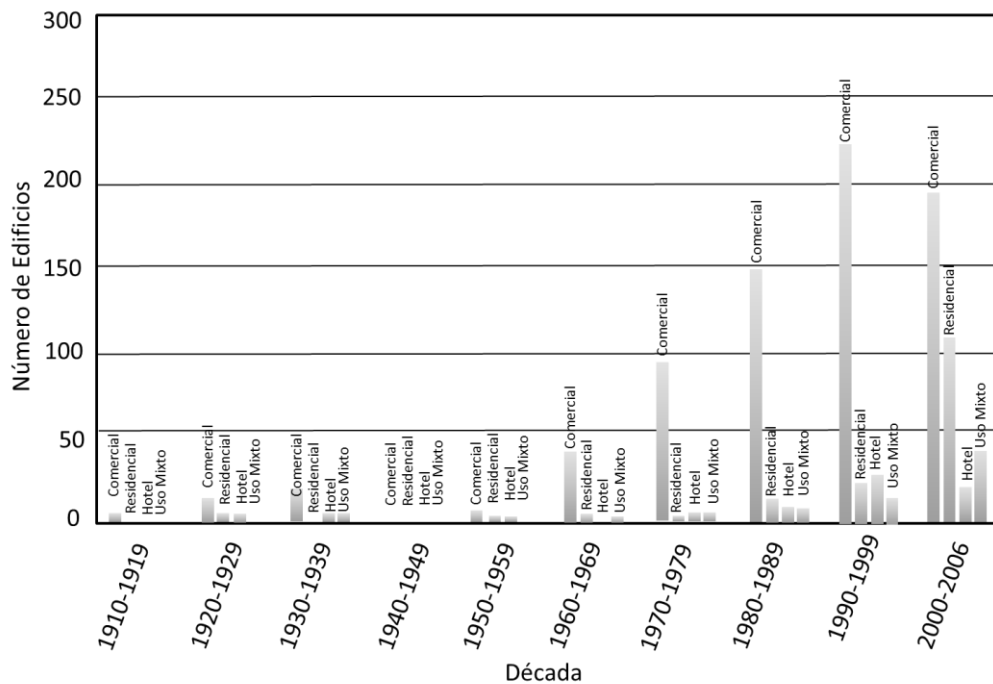
las dificultades para lograr un comportamiento social satisfactorio, hacen que aún sea un reto esta idea, aunque ya hay proyectos para la misma.

Con el atentado terrorista a las torres gemelas de Nueva York (el 11 de septiembre de 2001), la planeación y diseño de estas construcciones tiene que cambiar. La histeria creada hace difícil que estas construcciones sean atractivas en el futuro, sin embargo, siempre habrá soluciones que recogerán experiencias anteriores en el uso de materiales y sistemas estructurales. El concreto reforzado de «alta resistencia» que fue usado en las columnas de las torres Petronas en Kuala Lumpur, Malasia, permite soportar los problemas creados por el fuego en los perfiles estructurales de acero y evitar el colapso progresivo como el ocurrido en las torres de WTC de Nueva York.

Hoy en día los rascacielos son un fenómeno arquitectónico en todo el mundo. Muchos edificios altos se están construyendo en todo el mundo, especialmente en países asiáticos como China, Corea, Japón y Malasia. Con base en los datos publicados en 1980 (Terranova, 2003), alrededor del 47% de los edificios altos del mundo se encontraban para entonces en América del Norte pero la distribución de los edificios altos ha cambiado radicalmente en los últimos años y Asia tiene ahora la mayor proporción con el 31%, dejando a América del Norte con sólo un 22%. Estos datos demuestran el rápido crecimiento de la construcción de edificios de altura en Asia durante las últimas décadas, mientras que la construcción de los mismos en América del Norte está ralentizada. De hecho, ocho de los diez edificios altos están ahora en Asia y sólo dos -la Torre Sears y el edificio Empire State- se encuentran en Estados Unidos.

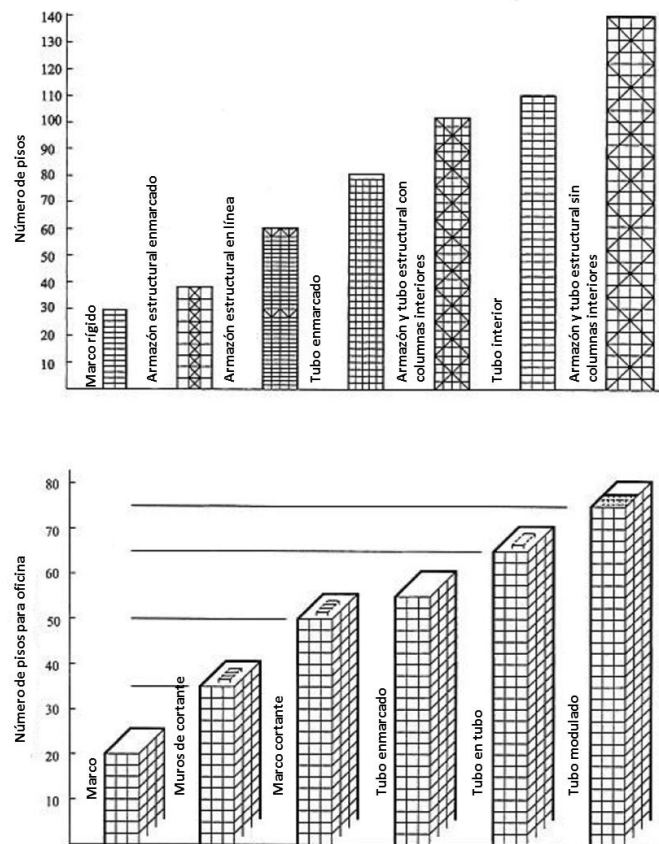
Tradicionalmente la función de los edificios altos ha sido de oficinas comerciales, sin embargo, otros usos -como el residencial, de uso mixto, o el hotelero- están teniendo un rápido aumento. Ha habido cierto escepticismo respecto a la construcción de edificios altos desde el atentado del 11 de septiembre de 2001, aun así, se siguen construyendo debido a sus significativos beneficios económicos en el uso del suelo urbano denso. ( M. Ali , 2007)





**Figura II.17. Variaciones del uso de los rascacielos. ( M. Ali , 2007)**

Los edificios altos involucran varios factores complejos como la economía, la estética, la tecnología, los reglamentos y la política. Entre éstos, la economía ha sido el principal factor que ha regido su construcción, sin embargo no hay que olvidar que su aparición y desarrollo no habría sido posible sin el apoyo de las tecnologías. La gran revolución arquitectónica que supuso la construcción de la estructura del esqueleto en acero, así como los consiguientes sistemas de muros cortina de vidrio que se derivaron -todo lo cual ocurrió en Chicago- ha llevado al actual rascacielos. En 1969 Fazlur Khan clasificó los sistemas de construcción de los edificios altos en relación a su altura con las consideraciones de eficiencia en la forma de esquemas "Sistemas Estructurales de los edificios en altura"



**Figura II.18. Clasificación de los sistemas estructurales de los rascacielos por Fazlur Khan (superior: acero, inferior: concreto).**

Los sistemas estructurales de los edificios altos se pueden dividir en dos grandes categorías: las estructuras interiores y las estructuras exteriores. Esta clasificación se basa en la distribución de los componentes del sistema de carga-resistencia lateral primaria sobre el edificio.

### **Estructura interior**

Los dos tipos básicos de sistemas de carga resistentes laterales en la categoría de las estructuras interiores son: los marcos resistentes a momento y los diagonales de cortante/muro cortante. Estos sistemas están generalmente dispuestos como conjuntos planos en dos direcciones ortogonales principales y pueden emplearse juntos como un sistema combinado en el cual interactúan. Otro sistema muy importante en esta categoría es la estructura del núcleo estabilizador apoyado, que

es muy utilizado en edificios de gran altura. El marco resistente a momento se compone de elementos horizontales (vigas) y verticales (columnas), rígidamente conectados entre sí en una forma de rejilla plana. Tales marcos resisten la carga principalmente por medio de la rigidez a la flexión de los miembros.

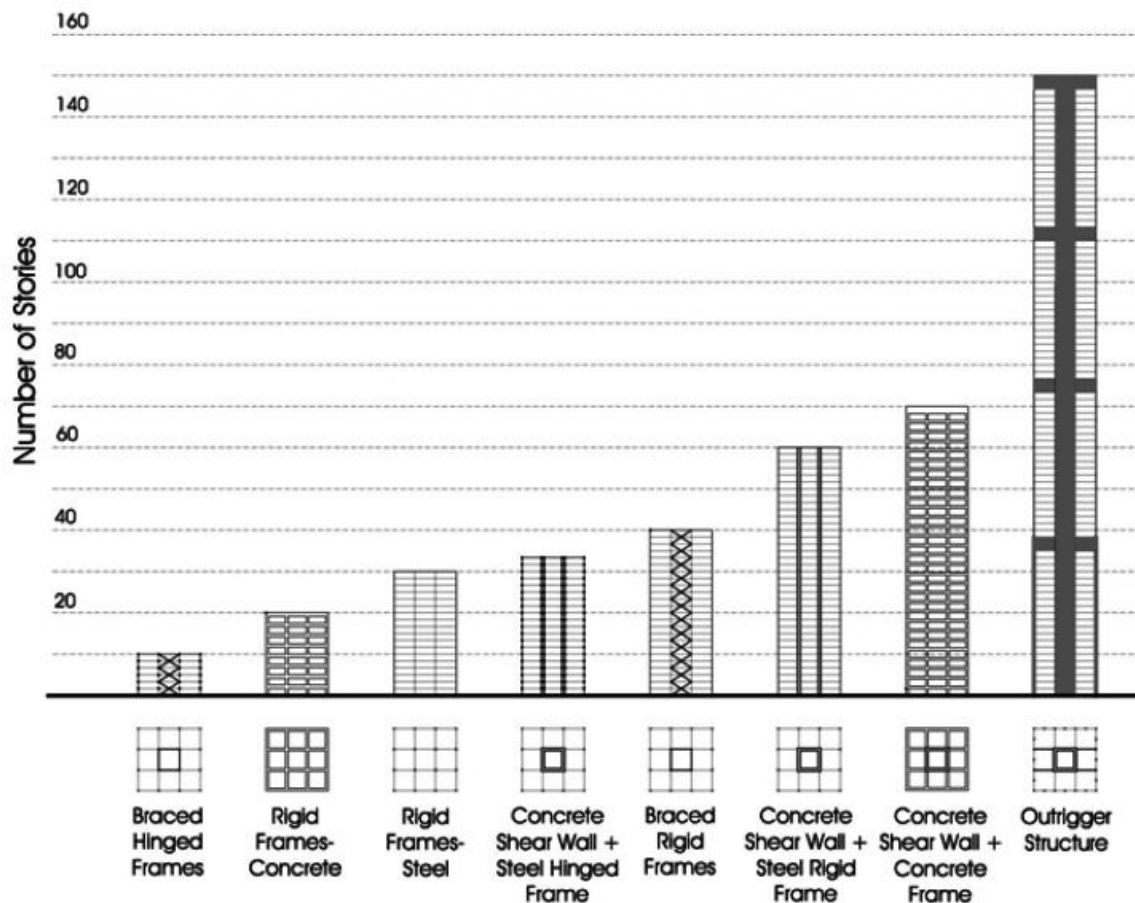
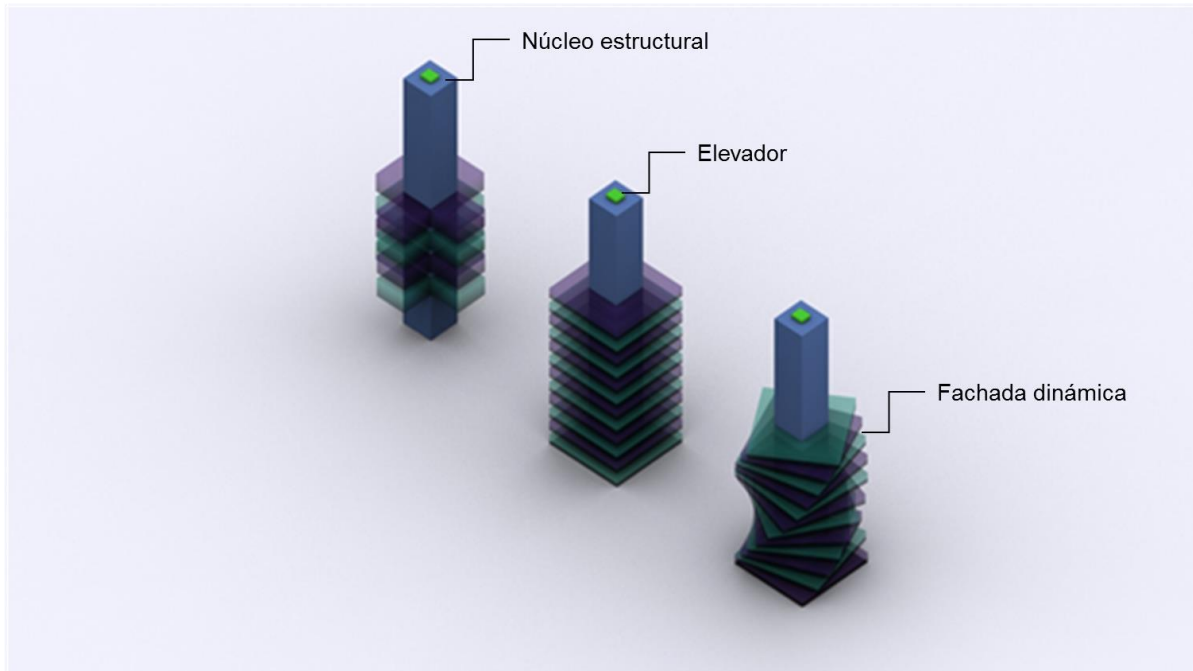


Figura II.19. Estructura interna.

El tamaño de las columnas es controlado principalmente por las cargas por gravedad que se acumulan hacia la base de la construcción, lo que da lugar a tamaños progresivamente más grandes de columnas hacia la base. El tamaño de las vigas, por otro lado, es controlado por la rigidez de la estructura con el fin de garantizar la deriva lateral aceptable del edificio. Aunque la carga por gravedad es más o menos la misma en todas las plantas típicas de un edificio alto, los tamaños de las vigas necesitan incrementarse para aumentar la rigidez del marco. Del mismo modo, el tamaño de las columnas para las cargas de gravedad necesita ser

ligeramente aumentado para aumentar la rigidez del marco; de este modo el marco resistente a momento puede estar situado en o alrededor del núcleo, en el exterior, y en todo el interior del edificio a lo largo de las líneas de cuadrícula.



**Figura II.20. Núcleo estructural y fachada dinámica de soporte.**

## Conclusiones

En el año de 1890 el rascacielos surge como una edificación de baja altura, que respondía principalmente a las necesidades económica y funcional que tenía la ciudad de Chicago; las edificaciones de este tipo se desarrollaron cada vez más en respuesta a las nuevas condiciones de las actividades sociales. La creciente economía de Chicago exigía un crecimiento más acelerado en varios ámbitos, uno de los principales fue la edificación: la acelerada construcción de edificios de oficinas, cuyas características se definieron por tres aspectos importantes que determinaron su conformación arquitectónica.

- El primer factor fue el elevado costo del suelo para la construcción. La única forma de sacar rendimiento a las costosas parcelas del centro era construir más plantas en los mismos metros cuadrados. La población de Chicago se duplicó entre 1880 y 1890, y durante esa misma década los precios inmobiliarios en el centro de la ciudad se dispararon de 130,000 dólares por acre trimestral a 900,000 dólares. La densidad de la ciudad se vio agravada aún más por la geografía: Chicago fue encerrado en una pequeña área de nueve bloques y limitado por el río Chicago, al norte y al oeste, y el lago Michigan y el depósito de trenes hacia el este y el sur.
- El segundo factor fue el descenso en el precio del acero como consecuencia del creciente desarrollo industrial del país. El acero permitió abandonar las pesadas estructuras de ladrillo y hormigón, y dio paso a edificios más ligeros pero igualmente resistentes. Esto fue consecuencia del crecimiento industrial de la ciudad e impactó directamente en el desarrollo vertical de la ciudad con los nuevos sistemas constructivos en acero (esqueleto estructural) y los cerramientos de muros cortina con cristal (envolvente); este tipo de sistema propició elevar mucho más la edificación ya que además permitía una altura mayor entre los diferentes niveles respecto de los sistemas tradicionales de construcción realizados con piedra, ladrillo y madera; la iluminación artificial y la generalización del aire acondicionado, por su parte, permitieron que los rascacielos fueran cada vez más altos.

- El tercero, fue la invención del ascensor. La cuestión tecnología fue uno de los factores más importantes para que la ciudad creciera cada vez más. La creación del ascensor facilitaba desplazarse más rápido que por las escaleras, logrando que los edificios fueran cada vez más altos. Elisha Graves Otis inventó en 1852 el primer freno de seguridad para ascensores. En el año 1857, Otis instaló el primer ascensor de vapor con freno de seguridad en un edificio de cinco plantas. En 1872, C. W. Baldwin, que trabajaba para la compañía Otis, inventó el elevador hidráulico de engranajes, el cual retiró de circulación al de vapor. Los ascensores hidráulicos funcionaban gracias a la presión del agua que suministraban directamente las tuberías de la red de abastecimiento municipal, o mediante la fuerza de una bomba de agua instalada en un tanque de almacenamiento ubicado en lo alto del edificio.

Todos estos factores fueron determinantes para la tipología de los rascacielos, pero no fue sino hasta el año 1960, con el edificio John Hancock Center, cuando se dio un cambio importante en la concepción y construcción de los rascacielos en gran altura. Cuando se terminó de construir el edificio en 1969, era el rascacielos más alto del mundo fuera de Nueva York. Su estructura reforzada con diagonales estructurales permitió economizar acero en la construcción y se consiguió que el edificio resistiera vientos de hasta 193 km/h.

Es a partir de estos casos cuando la importancia del viento se vuelve uno de los factores más importantes para la creación de rascacielos de gran altura, ya que el viento define la altura del mismo, su sistema constructivo y su composición arquitectónica final.





# Capítulo III.

## LA IMPORTANCIA DEL VIENTO EN LOS RASCACIELOS

En este capítulo abordaré las principales características del comportamiento del viento sobre las edificaciones mediante el análisis-comprobación de la arquitectura vernácula y contemporánea.

También abordaré la importancia del aprovechamiento del viento en los rascacielos como un medio de ventilación natural y por ahorro que implica su uso en la configuración aerodinámica del edificio, para lograr desarrollar edificaciones que impacten en un menor grado al medio ambiente.



## Introducción

Las principales características del viento que deben ser consideradas en cualquier estudio de ventilación son las siguientes:

- Dirección
- Frecuencia
- Velocidad
- Turbulencia y ráfaga

La dirección, la velocidad, y la frecuencia son parámetros usualmente expresados cuantitativamente, mientras que la turbulencia y ráfaga se expresan generalmente en términos cualitativos o relativos, aunque existen algunos modelos matemáticos que tratan de definir el grado de intensidad de la turbulencia del viento cerca del suelo.

**Dirección:** Convencionalmente la dirección del viento señala de dónde viene no hacia dónde va, es decir, define su procedencia. La dirección del viento se mide por medio de las *veletas* o anemoscopios y siempre está referida a los puntos cardinales, y a sus divisiones y subdivisiones (rumbo). La dirección del viento también puede definirse como Variable (V) cuando debido a su variabilidad no se puede precisar su procedencia; o como Calma (C) cuando el viento está ausente.

**Frecuencia:** Con el fin de ordenar todas las lecturas efectuadas, y para estimar la dirección dominante, es necesario contar con la frecuencia de lecturas tomadas para cada orientación. La mayor frecuencia definirá la dirección dominante del viento. Si bien la dirección proporciona la dominancia de procedencia del viento, las frecuencias indican la variabilidad de la dirección del viento y los rangos probables de su procedencia; además, ayuda a distinguir posibles variaciones horarias, o estacionales. La definición de las frecuencias es indispensable para poder graficar la rosa de los vientos.



**Velocidad:** La velocidad del viento normalmente se expresa en metros por segundo (m/s), aunque también puede ser expresada en kilómetros por hora (km/h) cuando la velocidad del viento es alta o se presenta con mucha fuerza. La velocidad del viento se mide con un anemómetro de copas o molinete, de hélice, de presión, de hilo caliente o de rayo láser.

**Turbulencia y ráfagas:** Para analizar los vientos locales -o aquéllos que se presentan en un sitio particular- es necesario conocer el grado de rugosidad y morfología del terreno, ya que la turbulencia, además de reducir la velocidad, también puede modificar la dirección del flujo de aire canalizándolo o desviándolo. La turbulencia puede ser de dos tipos: turbulencia térmica o turbulencia mecánica. La primera está asociada con la intensidad y actividad convectiva. Este tipo de turbulencia se incrementa con la intensidad del calentamiento superficial, por lo que es muy común en áreas urbanas donde el calentamiento es muy variado en las distintas superficies constructivas. Por su parte, la turbulencia mecánica está determinada por la rugosidad y forma de la superficie u objeto que interfiere con el flujo de aire. El tamaño y tipo de la turbulencia depende básicamente de la forma y tamaño del obstáculo y, en la práctica, no se ve afectada por la velocidad del viento.

Como se mencionó anteriormente, la rugosidad del terreno provoca la fricción del aire y, con ello, una disminución en las capas inferiores. La masa de aire que se está desplazando sufre entonces una diferencia de velocidades entre las capas inferiores y superiores; si la distribución vertical de las velocidades no es estable, el aire superior -que viaja más rápido- irrumpe a veces en las capas inferiores, produciendo bruscos cambios de velocidad, por lapsos breves, que son llamados ráfagas.

Tanto la turbulencia como las ráfagas no pueden ser estimadas cuantitativamente, sino únicamente de manera cualitativa a través de túneles de viento que puedan simular la capa límite. Con independencia de esto, son elementos importantes que hay que tener presentes cuando se hacen estudios del comportamiento del viento con fines arquitectónicos.

La velocidad del aire se incrementa conforme la altura aumenta. En la figura 1 se ejemplifican los diferentes escenarios -urbano, rural y marino- de los perfiles de velocidad debidos a la variación de la altura, a la rugosidad del terreno, y cómo éstos cambian por la diferente fricción de los elementos, tanto naturales como artificiales, que se encuentran al impactar con el flujo de aire.

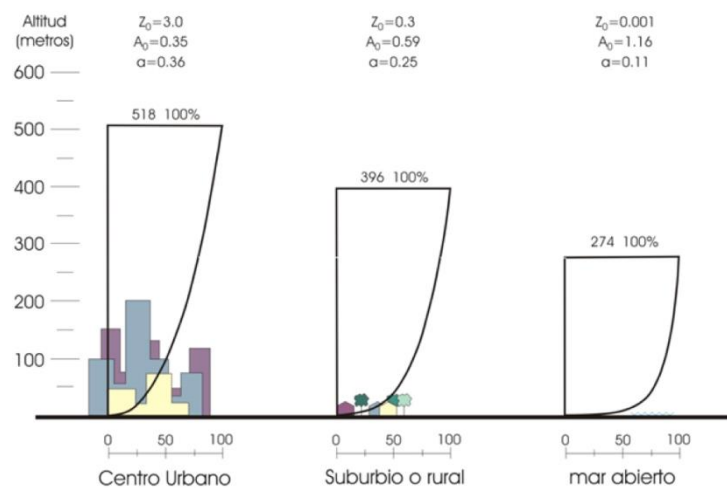
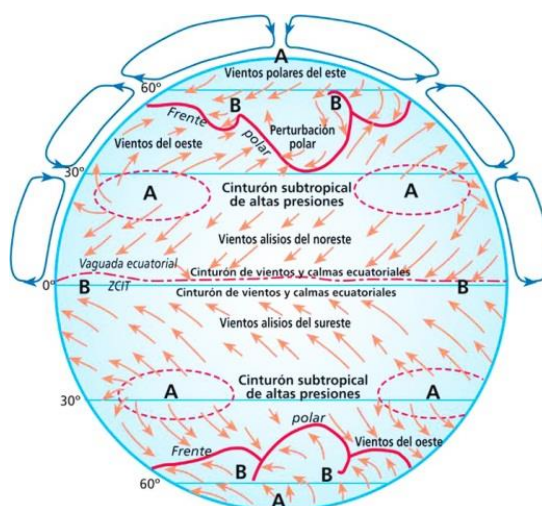


Figura III.1. Perfiles de velocidad en diferentes escenarios. (Fuentes, 2004)

## Vientos generales

El viento es una corriente de aire en movimiento horizontal que se genera debido a las diferencias de temperatura y de presión atmosféricas, las cuales se originan por un calentamiento no uniforme de la superficie terrestre, ya que mientras el sol calienta el aire, el agua y el suelo de un lado de la Tierra, el otro lado es enfriado por la radiación nocturna hacia el espacio.

Este desigual calentamiento de la atmósfera ocasiona movimientos compensatorios que tienden a reducir la diferencia horizontal de temperatura y, por lo tanto, las diferencias de densidad y presión. En este sentido, puede decirse que el viento es el resultado de la conversión de la energía solar en energía cinética.



**Figura III.2.Comportamiento del viento a nivel planetario, debido a la acción de las fuerzas.**

Los patrones de circulación del viento en el planeta son el resultado combinado de los flujos convectivos con el efecto de rotación terrestre. En el movimiento del aire, tanto su velocidad como su dirección están gobernadas por una combinación de cuatro fuerzas básicas:

- *Fuerza Gradiente de Presión.* El aire siempre se mueve de una presión alta hacia una presión baja.
- *Fuerza Coriolis.* La dirección del viento sufre una desviación debido a la rotación de la Tierra: cualquier objeto o fluido moviéndose libre de manera horizontal en el hemisferio norte, tiende a ser desviado a la derecha de su patrón de movimiento, mientras que en el hemisferio sur, la deflexión sería hacia la izquierda; este efecto es ausente en el ecuador y se incrementa en los polos.
- *Fuerza Centrífuga.* El aire se mueve en un patrón curvo girando alrededor de una celda de presión. En el hemisferio norte, la dirección del flujo es en el sentido de las manecillas del reloj en las zonas de alta presión (*anticiclón*) y en el sentido inverso en las zonas de baja presión (*ciclón*).
- *Fuerza de Fricción.* La velocidad (y dirección) del viento se ve alterada cerca de la superficie Tierra, dependiendo del grado de rugosidad superficial.
- El aire calentado en el ecuador sube y se desplaza hacia el polo norte bajando aproximadamente en la latitud 30° N y regresa hacia el ecuador con

una dirección NE debido al efecto coriolis (vientos aislados). Entre la latitud 30° N y 60° N se presentan los vientos del oeste y a partir de la latitud 60° N se presentan los vientos polares de dirección NE.

## Vientos locales

Los vientos de gran escala generalmente dominan; sin embargo, pueden ser alterados o modificados por los vientos locales o convectivos. Los principales vientos convectivos son: los vientos de valle, los vientos de ladera y las brisas de mar y terral. El fenómeno de estos últimos, que son los más característicos y notorios, es el siguiente: un océano se calentará más lentamente que la tierra adyacente debido a que el agua tiene gran capacidad calorífica; asimismo el océano se enfriará más lentamente que la tierra.

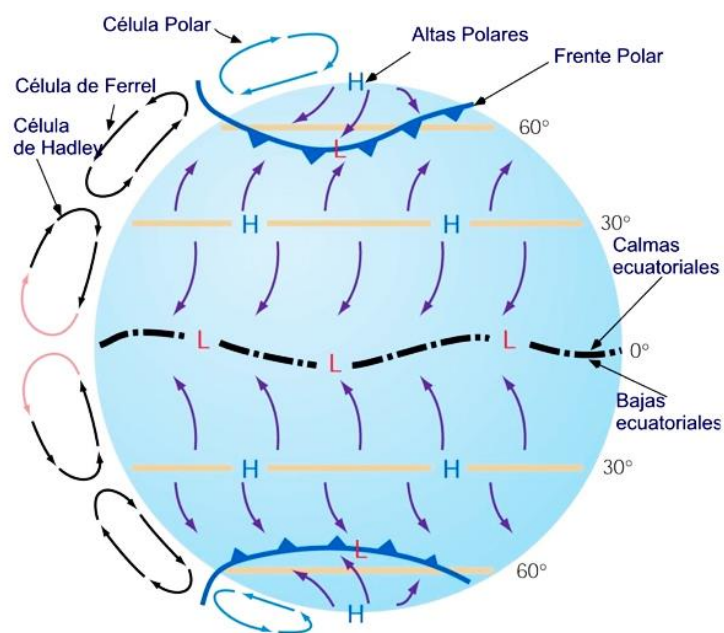


Figura III.3. Patrón general del viento (vientos alisos).

Estas diferencias de calentamiento y enfriamiento traen como consecuencia grandes movimientos de aire. En el día, la tierra calentada provoca una corriente ascendente en el aire, el cual es reemplazado por la brisa del aire fresco de la mañana. Durante la noche, la tierra se enfría más rápido que el agua, lo que origina que el flujo de las corrientes de aire se invierta, circulando de la tierra hacia el mar (terral).

## Viento en las edificaciones

Cuando el viento pega contra un edificio, se crea una zona de presión alta en la cara frontal; el viento rodea al edificio y origina zonas de alta presión en las caras laterales y en la cara posterior. Naturalmente el aire tiende a entrar al edificio por zonas de alta presión y a salir por las zonas de baja presión.

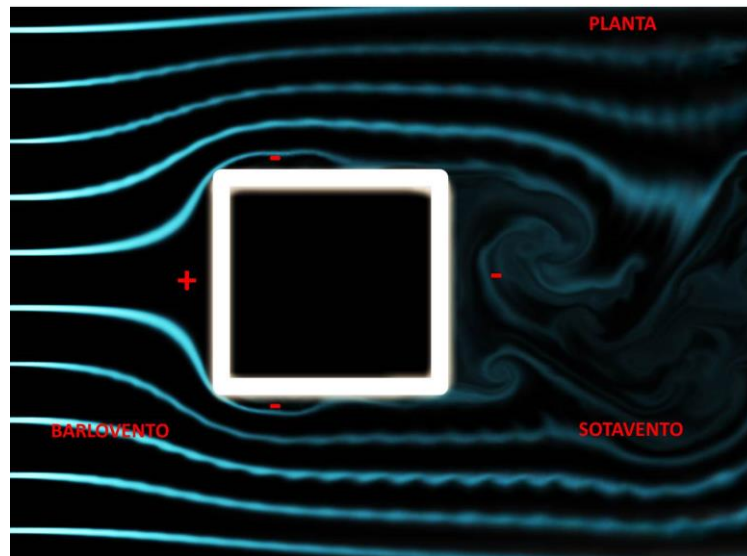


Figura III.4. Impacto del viento en una superficie. Presión baja (-) y Presión alta (+).

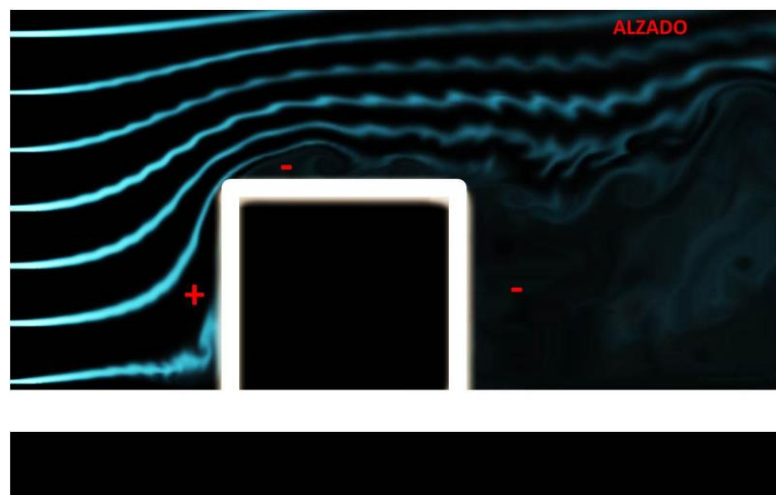


Figura III.5. Impacto de viento. Alzado.



## Casos de estudio

En los siguientes casos de estudio se muestra la importancia de la ventilación como estrategia de climatización natural y de su importancia proyectual para la concepción de los rascacielos.

### Arquitectura vernácula

Por medio del análisis de la arquitectura vernácula, encontramos que el hombre siempre ha buscado formas características para el aprovechamiento del viento. Por ejemplo, en los climas cálidos y secos -donde es necesario captar el viento y enfriarlo naturalmente para posteriormente introducirlo a las edificaciones- el hombre diseñó torres eólicas. En Medio Oriente se localiza una gran variedad de torres: de inyección o succión, unidireccionales o multidireccionales, aisladas o adosadas al edificio, con ducto enterrado o sin él, con humidificación o sin ella, etc. Sin embargo, en todas sus variantes el principio utilizado es el mismo: se aprovechan las fuerzas y presiones del viento para dirigirlo de manera controlada al interior del edificio.

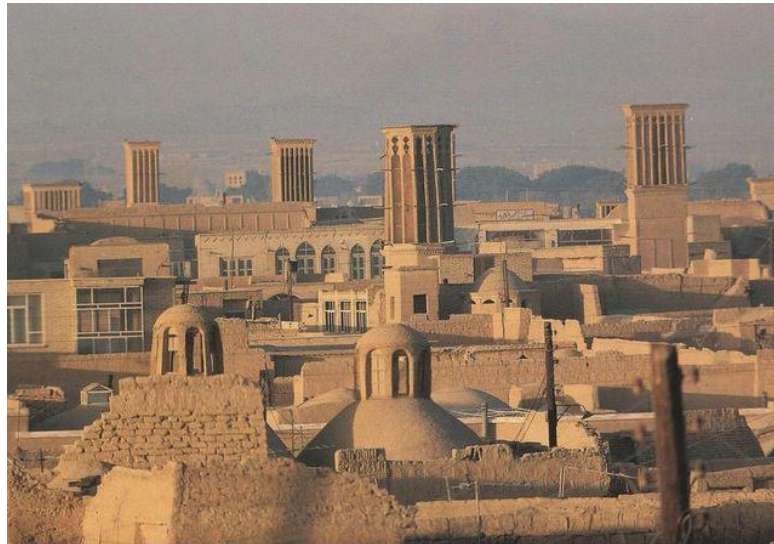
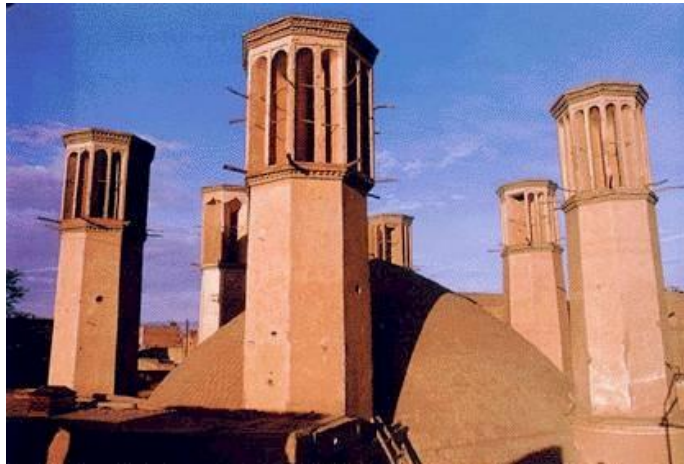


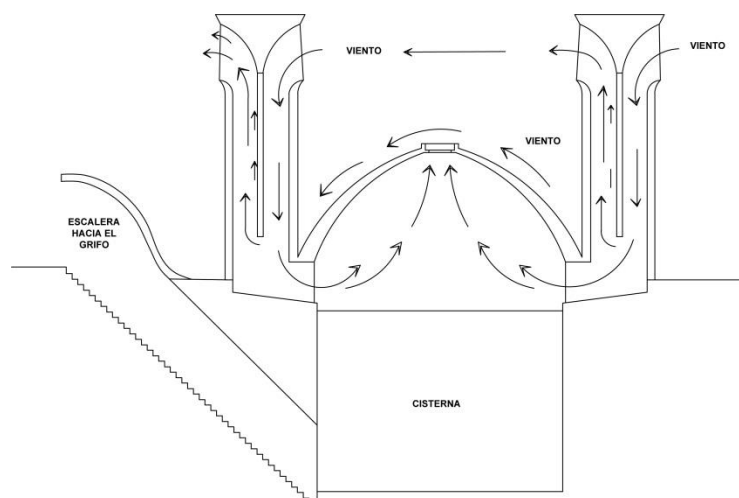
Figura III.6. Torres eólicas de la ciudad de Yazd. Irán.



Desde luego el concepto de torre eólica funciona de manera integral con el diseño del edificio. En este tipo de arquitectura los principales esquemas de diseño son la masividad de la construcción y el patio central, el cual puede ser abierto o cerrado por medio de una bóveda que casi siempre cuenta con alguna abertura en un ápice. El patio crea un microclima interior, basado principalmente en las corrientes de aire provenientes de la torre eólica. Las cubiertas abovedadas provocan una disminución de la presión al paso del viento, generando una fuerza de succión que extrae el aire caliente del interior del edificio y que favorece las corrientes de aire de la torre eólica; de este modo se establece un flujo convectivo constante. A través de este sencillo sistema se alcanzan disminuciones de temperatura de hasta 20 °C en relación a la temperatura exterior. (Fuentes, 2004).

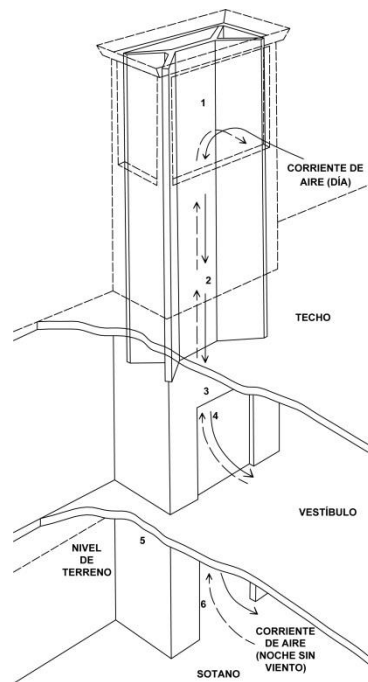


**Figura III.7. Techo abovedado y torres eólicas de una cisterna.**

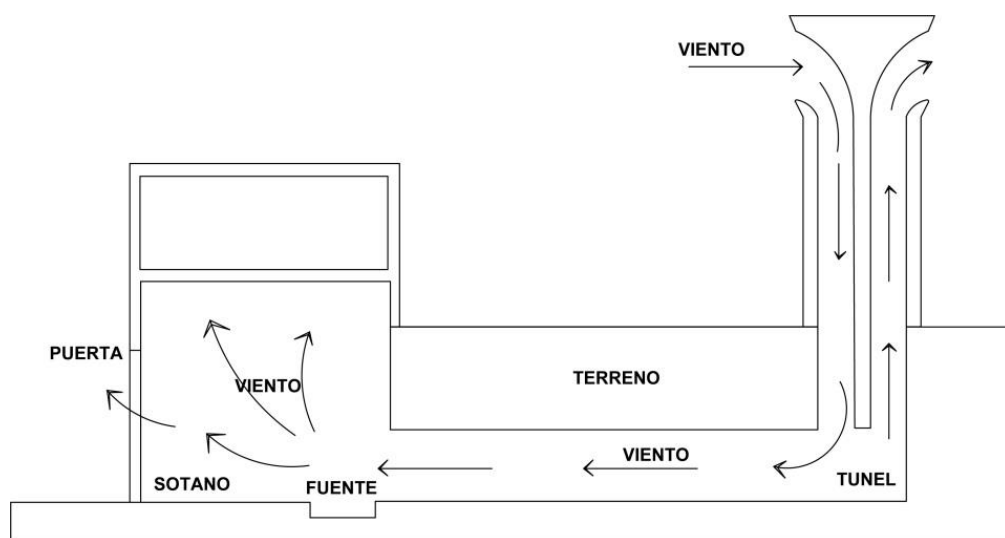


**Figura III.8. Esquema de funcionamiento de la torre eólica con cisterna.**

Estas técnicas son utilizadas desde el año 3000 a. C. Una de las más interesantes es el sistema de la “torre eólica” (año 900 d.C.): la torre eólica (también llamada la chimenea solar o la torre de viento) se utiliza para activar la convección natural captando los vientos. Así, el aire, al descender hacia el interior, es enfriado y distribuido por todos los espacios de la construcción.



**Figura III.9. Esquema de funcionamiento de una torre eólica.**



Como se muestra en la figura III-10 el comportamiento del viento al ingresar a la torre eólica, los islámicos observaron que, cuando el aire desciende por la torre hasta el sótano, encuentra los muros húmedos. Aquí, el aire sufre un enfriamiento. El agua que está en los muros absorbe el calor del aire (al evaporarse), y esto hace que su temperatura baje significativamente.

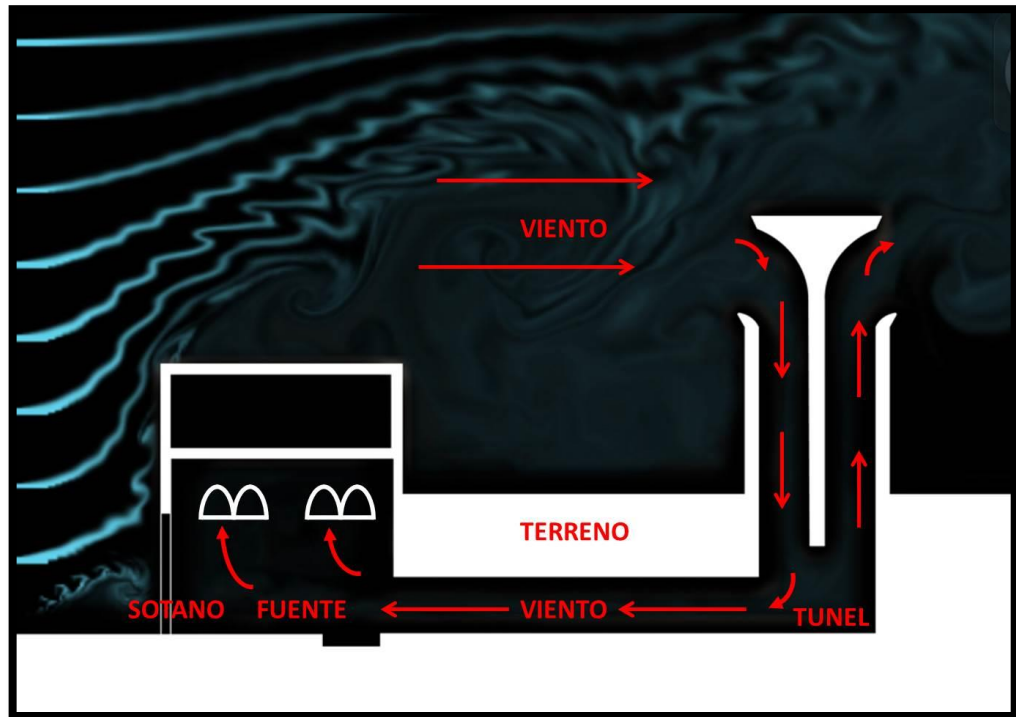


Figura III.10. Comportamiento de una torre eólica captando aire.

Por otro lado, en los climas cálidos-húmedos es necesario aprovechar al máximo la ventilación. En estos climas el viento no es tan caluroso por lo que se puede introducir de manera directa sin necesidad de pre-enfriarlo. De esta manera, la vivienda es totalmente permeable al viento y la ventilación se logra a través de todos los elementos constructivos: por debajo del piso, por los muros y por la cubierta. A diferencia de los climas cálidos-secos donde las edificaciones son masivas para aprovechar la inercia térmica, en los climas cálidos-húmedos se utilizan generalmente materiales naturales aislantes.

Por el contrario, en los climas fríos es indispensable evitar al máximo la ventilación: se debe lograr el aislamiento y la protección. El iglú es un buen ejemplo del control del viento; éste se logra con cambios de nivel y cámaras esclusas. La forma semiesférica de los mismos ayuda a conseguir este control. La esfera es el cuerpo geométrico que ofrece un mayor volumen con la menor superficie, de tal forma que el espacio se aprovecha al máximo, con una exposición mínima al ambiente circundante adverso.

Al mismo tiempo se utiliza un sistema constructivo sencillo que utiliza el único material disponible. Los bloques de hielo funcionan como un excelente aislamiento, el cual es reforzado en ocasiones con pieles de animales.

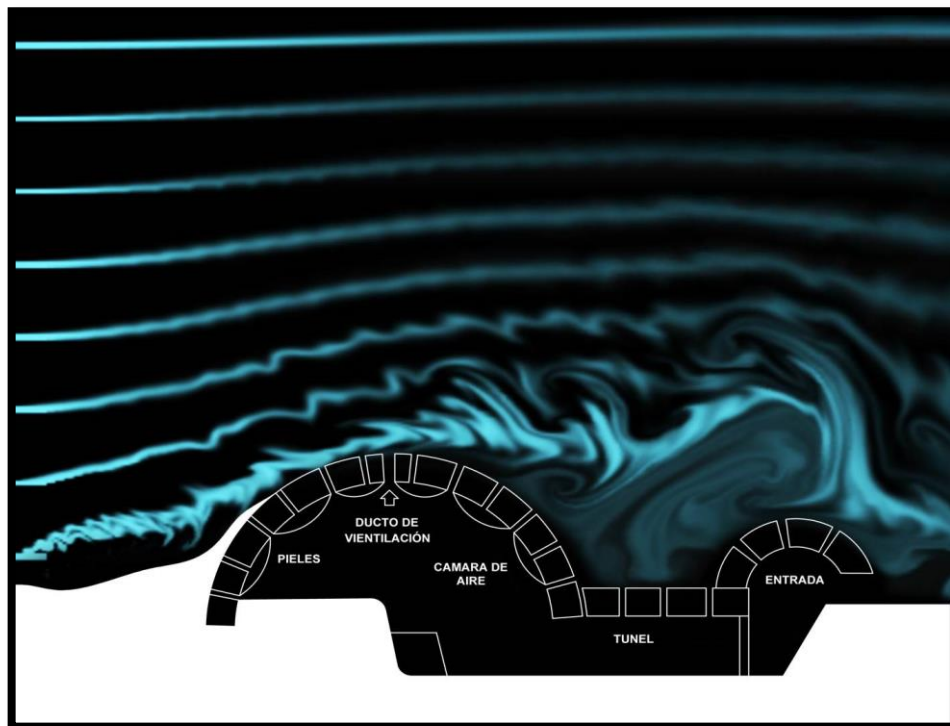


Figura III.11. Esquema de un iglú y su comportamiento ante el viento exterior.

En este tipo de arquitectura extrema se logra aumentar la temperatura interior hasta en treinta grados por encima de la exterior -y ello a pesar de las bajas temperaturas y los fuertes vientos- lo que hace que sea una de las soluciones arquitectónicas-energéticas más eficientes.

## Arquitectura Contemporánea

Un ejemplo significativo a finales de los años 50's es el edificio del arquitecto Alfonso Eduardo Reidy<sup>19</sup> llamado Conjunto Habitacional Pedregulho, en Río de Janeiro. Se trata de un edificio tipo palafito con muros celosía para permitir el máximo flujo de viento en el interior y con máximo control solar. Sin embargo, lo más interesante del concepto utilizado es el uso de una doble cubierta (techo escudo), que permite un excelente control de la radiación solar, aunado a la disipación de calor por medio de la ventilación cruzada.

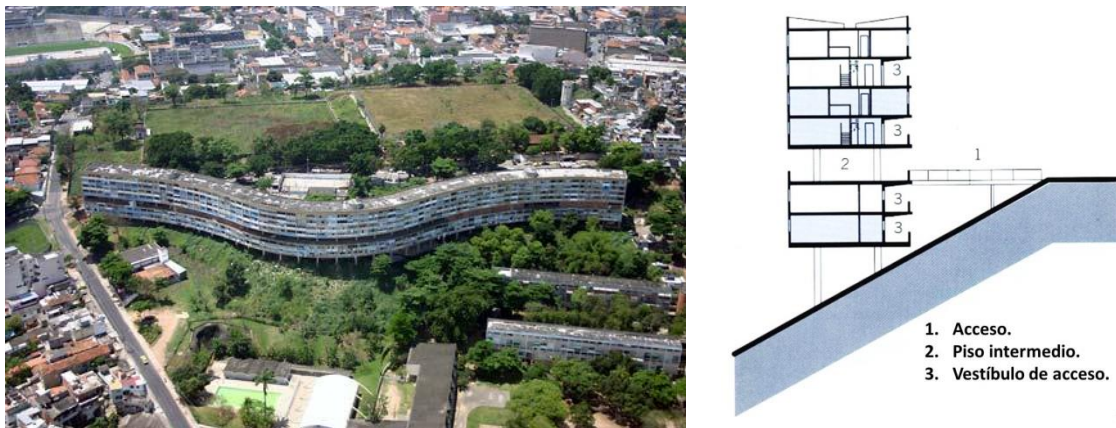


Figura III.12. Conjunto Habitacional Pedregulho, Río de Janeiro.

Este concepto de doble cubierta es una estrategia de climatización muy utilizada hoy en día.

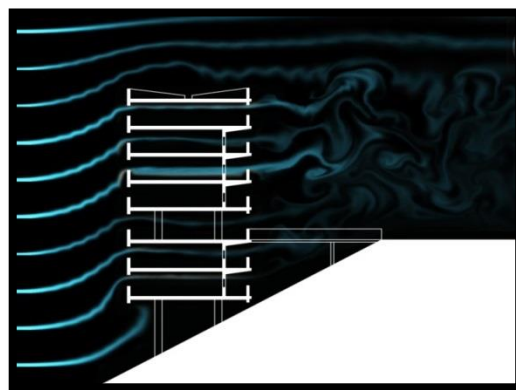


Figura III.13. Análisis de viento en Conjunto habitacional Pedregulho.

<sup>19</sup> Alfonso Eduardo Reidy (París, Francia 1909 - Río de Janeiro, Brasil 1964), al erradicarse en Brasil, formó parte de una generación de arquitectos liderados por Lúcio Costa afianzados en la Arquitectura Moderna.



El Edificio “Torre Turbina” de Richard Rogers es un buen ejemplo de la estrategia de torre eólica aplicada en un edificio contemporáneo. Se trata de un edificio en la ciudad de Tokio que cuenta con un sistema de torres eólicas de captación y extracción. El viento se capta por medio de una torre inferior y es canalizado hacia unos intercambiadores de calor en cisternas de agua fría. El aire, una vez climatizado, se introduce a los locales del edificio a través de los distintos entrepisos.

El aire caliente del interior es canalizado a una gran torre de succión que aprovecha el efecto stack<sup>20</sup> (efecto de tiro), el cual es incrementado por captadores solares en lo alto de la torre.

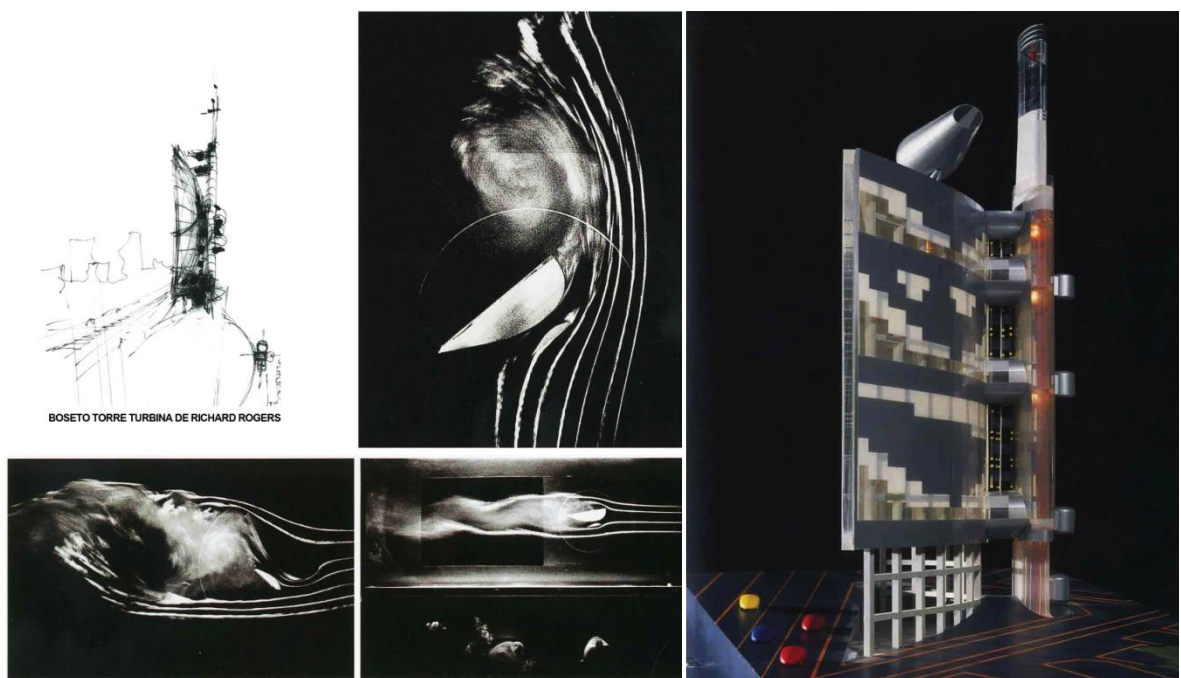


Figura III.14. “Torre Turbina” análisis de viento del modelo, Richard Rogers. (Edwards, 2008)

---

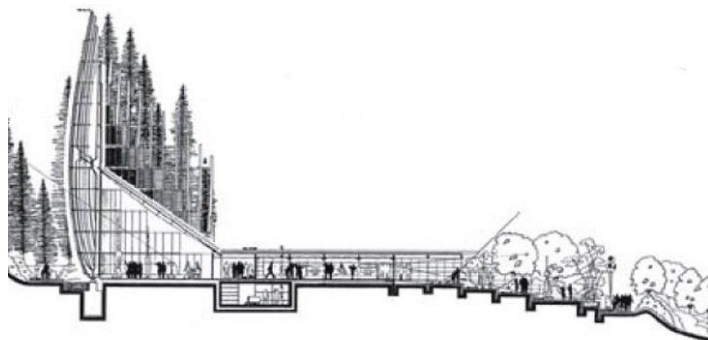
<sup>20</sup> El movimiento del aire por efecto Stack ocurre cuando las diferencias de temperaturas causan diferencias de densidad en el aire y provocan diferencias de presión entre el interior y el exterior.

A diferencia de las mezquitas islámicas tradicionales de clima cálido-seco, en la Mezquita del Sultán Abdul Aziz Shah de Kuala Lumpur se utiliza la ventilación natural cruzada. El edificio se abre al viento a través de sus bellas celosías, las cuales, proporcionan al mismo tiempo protección solar. El clima caluroso-húmedo de Malasia permite una solución abierta de sus edificaciones en donde la ventilación cruzada se convierte en la principal estrategia de diseño bioclimático.



**Figura III.15. Mezquita del Sultán Abdul Aziz Shah de Kuala Lumpur.**

Como ejemplo de una edificación en un clima cálido-húmedo, tenemos uno de los edificios de Renzo Piano: el Centro Cultural de Nueva Caledonia, en Nouméa. Su forma distintiva fue generada por la necesidad de maximizar la ventilación en este tipo de clima. El edificio se encuentra ubicado en una colina boscosa a la orilla de un lago.



**Figura III.16. Centro Cultural Jean Marie Tjibaou. Corte.**

El concepto de diseño permite la canalización del aire fresco de la parte baja y arbolada del terreno. Por estratificación térmica el aire sube y sale por las torres de extracción que se ubican en la parte más elevada del edificio y del terreno.

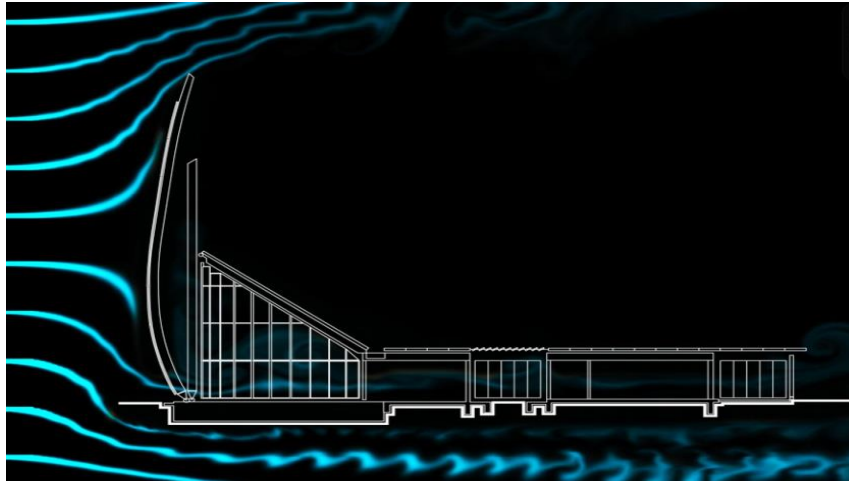


Figura III.17. Análisis de viento Centro Cultural Jean Marie Tjibaou.

El edificio cuenta también con patios interiores abiertos y con muchos muros de celosía que permiten una alta permeabilidad al viento. El diseño de las torres es versátil ante las condiciones de los vientos locales y del flujo de aire del edificio. Conjuntamente con el manejo de los materiales y el diseño total del edificio, se permite el paso constante del aire.

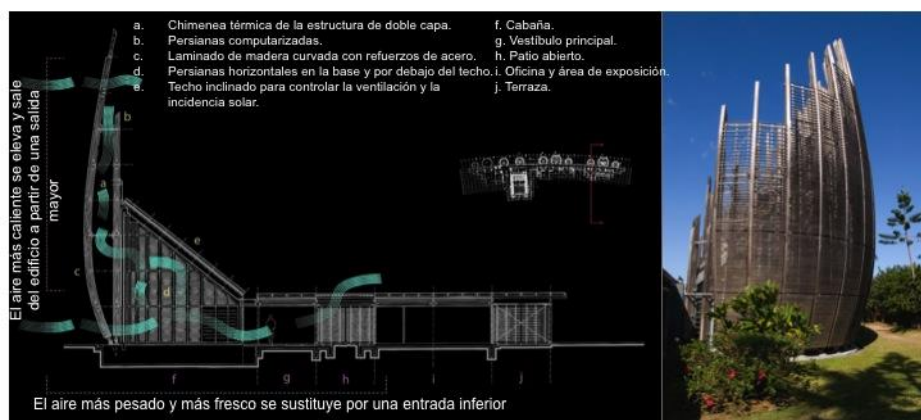


Figura III.18. Comportamiento del viento en Centro Cultural Jean Marie Tjibaou.



## Edificios con doble fachada ventilada

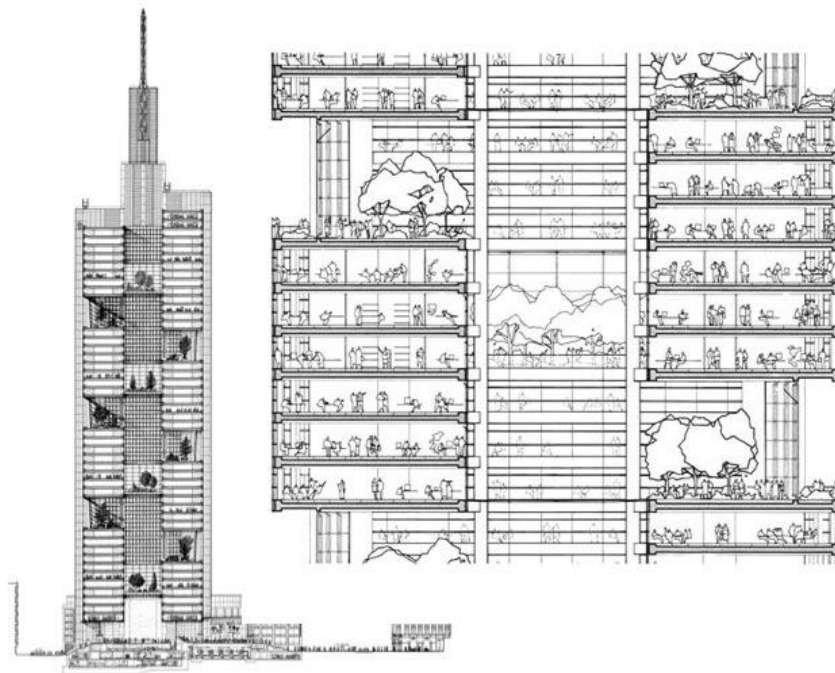
La nueva sede del Banco de Comercio de Frankfurt de Sir Norman Foster es el primero de una nueva generación de edificios (rascacielos) que no dependen de la climatización artificial para proveer confort a los ocupantes. Hasta ahora los edificios altos y los rascacielos dependían del aire acondicionado para su climatización; esto se debía a varias razones, entre las que destaca el hecho de que a grandes alturas es difícil controlar el viento para introducirlo al interior de los espacios.



**Figura III.19. Banco de Comercio de Frankfurt de Sir Norman Foster.**

El concepto básico del diseño de Foster, es lograr la ventilación natural a través de ventanas operables y un atrio central que disipa el aire caliente por estratificación o efecto stack. Este edificio aprovecha una doble fachada acristalada, la cual forma una cavidad ventilada que permite controlar el viento a grandes alturas. Las fachadas acristaladas utilizan materiales de control térmico de baja conductividad, como vidrios especiales que ofrecen una buena transmitancia de la luz natural y evitan el paso del calor. Todo ello hace que la fachada funcione adecuadamente tanto en verano como en invierno.

El control del viento se logra por medio de un ingenioso diseño de la manguetería de la fachada. La cavidad también cuenta con micropersianas para el control solar y lumínico. La fachada interior cuenta con ventanas operables que permiten introducir el aire controlado de la cavidad. Este sistema de fachada está acompañado por el esquema de patio central. El edificio de sesenta pisos tiene una planta de forma triangular con un enorme espacio central que sirve como tiro para extraer el aire caliente del interior.

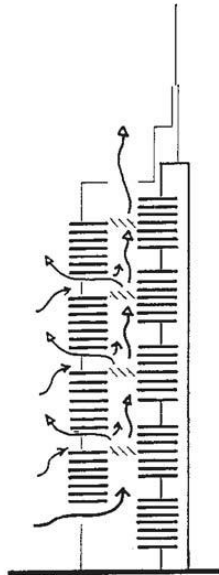


**Figura III.20. Banco de Comercio de Frankfurt de Sir Norman Foster.**

El efecto stack provoca una corriente ascendente que crea una circulación constante de aire. De manera alternada, en cada una de las fachadas y cada ocho niveles, se cuenta con un área ajardinado con una altura de cuatro niveles. Este espacio permite que desde el interior, sea cual sea la ubicación de los ocupantes, siempre se vea un área verde.

Desde el punto de vista del diseño, esto es muy importante ya que los espacios se abren visualmente y se hacen más amables, pero también, estos jardines ayudan al

esquema global de ventilación natural, ya sea para la extracción o introducción de aire, como para la aportación de oxígeno a través de las plantas.

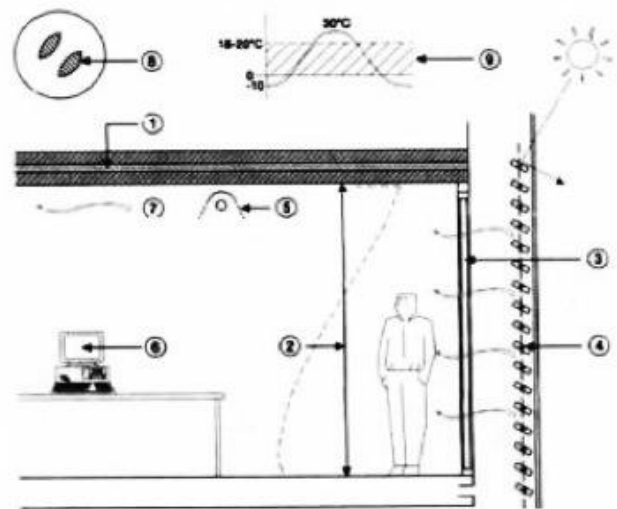


**Figura III.21. Esquema del sistema de ventilación.**

El edificio ARAG, de Norman Foster, emplea el mismo sistema de control. Al igual que el edificio RWE en Essen, Alemania, del Arquitecto Ingenhoven Overdiek, utiliza el mismo principio de cavidad ventilada para introducir ventilación natural en el interior de los espacios. Aunque el diseño varía ligeramente del de Foster, éste también utiliza micropersianas para el control solar y de iluminación natural. La cavidad entre las dos fachadas acristaladas es de cincuenta centímetros. A este tipo de sistema se le ha llamado: fachada climática.

El diseño del edificio de Sistemas Futuros para un Edificio Verde, proyecto del arquitecto McCarthy, también juega con la idea de una segunda “piel”, o cavidad ventilada, además del concepto de atrio central de gran altura. En este caso se trata de un edificio elevado sobre el nivel del piso, tipo Palafito. En el centro del edificio, en el patio central, se tiene un área ajardinada que funciona como atrio de ventilación. El viento entra por la parte baja del edificio, pasando a través de los jardines y refrescándose; el aire es después extraído por la parte más elevada del

edificio. Además de la doble fachada ventilada, otro método que se está utilizando es el aprovechamiento de la estratificación térmica natural del aire y su extracción por la parte alta de la cubierta. En estos casos las cubiertas son inclinadas o de bóveda de cañón corrido para favorecer la salida del aire.



**Figura III.22. Torre RWE en Essen, Alemania, del Arquitecto Ingenhoven Overdiek.**

Otro caso es el Liceo Polivalente Frejus en Francia, proyecto de N. Foster. El edificio utiliza la ventilación cruzada y el efecto stack. El esquema se basa en un atrio central donde se produce la estratificación térmica del aire, que es sacado por aberturas localizadas en la parte superior de la cubierta. De manera similar funciona el Centro de Convenciones y Exposiciones de Linz, Austria, del arquitecto Thomas Hersog. El edificio cuenta con una cubierta totalmente acristalada, que se compone de un elemento de doble cristal con micro-prismas o micro-persianas en su interior. Los micro-prismas se pueden usar para reflejar o redireccionar la luz solar directa y sólo permitir el paso de la luz difusa. Esta tecnología, de primera generación, ha progresado lo suficiente para permitir producir material extraído de placas microprismáticas de bajo costo, las cuales se pueden usar tanto horizontal como verticalmente. Aunque el principal concepto de diseño de este edificio se basa en la

utilización de la iluminación natural, el edificio cuenta con los principios elementales de la extracción por estratificación térmica en la parte superior de la cubierta. La entrada de aire se da de manera controlada por aberturas de inyección en el piso.

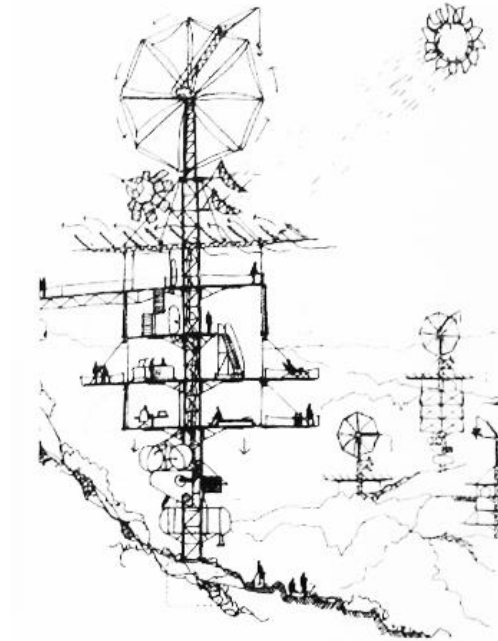
A lo largo de este apartado, he presentado múltiples ejemplos de arquitectura contemporánea que utiliza la ventilación natural como principal estrategia de diseño. Los conceptos que en ellos se aplican son prácticamente los mismos que se han utilizado en la arquitectura popular y vernácula a través de la historia.

Vemos como muchos de los edificios actuales están utilizando torres eólicas, tanto de inyección como de extracción. Éste es un principio altamente probado en la arquitectura de Medio Oriente que está siendo retomado por la arquitectura contemporánea mundial. El esquema de patio central como atrio de ventilación también es retomado en muchos proyectos, ya que es un elemento arquitectónico importantísimo para el control microclimático.

Elevar el edificio del nivel del suelo, tipo «palafito», es una estrategia que favorece la climatización pasiva y la ventilación natural principalmente en climas cálidos-húmedos. Otra de las principales estrategias que se están empleando hoy en día, es la utilización de doble envolvente constructiva. Ésta puede ser en la cubierta, tipo «techo escudo», o en los muros de las fachadas, «fachada climática». Si se utiliza en las cubiertas, se convierten en un elemento muy importante para la protección solar; Y si se usa en las fachadas, funciona como un elemento de protección en el verano, aislante en el invierno, y como cavidad de ventilación controlada para edificios de grandes alturas donde el viento incide con mucha fuerza.

Por otro lado, es importante mencionar que las nuevas tecnologías, tanto en sistemas constructivos, materiales, de control, etc. están ofreciendo nuevas posibilidades de aplicación y, de hecho, están permitiendo expandir la utilización de conceptos de diseño tradicionales -desde luego reinterpretados y aplicados- a la nueva arquitectura bioclimática contemporánea.

En su dibujo conceptual del edificio «molino de viento», Richard Rogers trata de expresar cómo un edificio puede aprovechar de manera integral las energías y recursos naturales. El esquema muestra de manera muy precisa el aprovechamiento del viento y la energía solar en la edificación.



**Figura III.23. Esquema torre turbina Richard Rogers.**

Éste es un esquema visionario de lo que en adelante deberán hacer todos los edificios construidos, ya que no se puede seguir edificando bajo los esquemas derrochadores de energía que imperan en la actualidad. Los nuevos edificios deben tener como premisa fundamental el bienestar y el confort de los ocupantes, pero también el uso eficiente de la energía. (Fuentes, 2004).

### **La evolución de la fachada en los rascacielos**

El ser humano por naturaleza se protege y modifica las diferentes condiciones del clima y el medio que lo rodea. La piel desempeña un papel importante ya que para cada clima está cubierta cambia su color, grosor, hidratación o textura; asimismo, es

flexible ante las variaciones de temperatura que experimenta, con lo cual cumple su principal función: protegernos del medio externo.

En los rascacielos la fachada es un elemento importante para resolver problemas de energía y fomentar su sustentabilidad debido a que su superficie puede ser aprovechada para integrar otras funciones que vayan más allá de la estética. Al igual que la piel humana, la envolvente de un edificio -que no debería ser inerte- puede cambiar por sí misma de una forma dinámica con el fin de reducir el consumo de energía que requiere la construcción, por medio de sistemas simples de control manual o automático. Estos sistemas integran elementos constructivos al exterior con funciones individuales o multifuncionales que se ajustan a las variaciones del ambiente para mantener el confort con el menor uso de energía; ello le da al inmueble una piel con elementos que actúan con autorregulación.

Así como la piel humana está formada por varias capas con múltiples funciones y con un control integrado, en un edificio la fachada debería de formar parte del sistema estructural y estar conectada a sensores que trabajen juntos; todo ello controlado por medio de un cerebro central.

La fachada es un elemento que realiza la función de envolver el espacio habitable interior; su diseño y construcción forman un potente controlador del medio ambiente interior en términos de impacto del viento, luz, calor, sonido, ventilación y calidad del aire. Además, tiene la capacidad de responder a los cambios del medio ambiente de acuerdo con el tiempo, día o año, para lo cual reduce el consumo de energía.

Se han desarrollado varios métodos en fachadas, como ventilación natural, enfriamiento durante la noche, manejo de luz de día o generación de energía solar, entre otros. Ahora las fachadas pueden ser multifuncionales, esto es, capaz de cambiar sus propiedades térmicas, de transmisión, de absorción, de permeabilidad, modificar su color, su transparencia, sus características ópticas, su protección térmica y solar, su difusión de la luz y su seguridad. Asimismo, son capaces de obtener información de los datos ambientales, como la velocidad del viento o la



radiación solar; también se integran elementos físicos hasta un nivel manométrico con materiales que tienen propiedades variables y habilidades dinámicas. Hoy día es ya una realidad contar con un edificio cuya fachada sea capaz de regularse por sí sola y operar su propio sistema bajo una inteligencia artificial.

Entre las funciones que se pueden integrar en una fachada está el sistema de control del edificio. Building Management System<sup>21</sup> (BMS), que es la unidad central que recibe toda la información de los diferentes sensores del exterior, es capaz de monitorear el clima, los cambios de temperatura y los sistemas pasivos y activos, y de activar el sistema que asegure en cada momento el uso más eficiente de la energía.

La base de datos integrada en una fachada tiene la capacidad de registrar información sobre el clima, almacenar y anticipar el estado de tiempo y calcular los niveles de sombra con base en un sistema de sensores exteriores y un cerebro central. Así mismo, puede realizar la lectura de la información ambiental que captura detalles en tiempo real de condiciones climáticas fuera y dentro del edificio. Todos estos datos son importantes para determinar el control y la toma de decisiones de las tecnologías inteligentes; los datos típicos obtenidos son: temperatura exterior, temperatura de fachada, humedad, insolación solar, temperatura interior, niveles de iluminación natural y velocidad del viento, entre otros. Al integrar un sistema de manejo de iluminación natural, la envolvente tiene capacidad para ajustar los niveles de iluminación con sistemas que respondan a los ángulos solares, ajustando la posición correcta para obtener óptimos niveles de sombra, reflexión, guía de la luz, control y transporte de luz solar.

El control solar en las fachadas está basado en el estudio del movimiento del sol, lo cual posibilita dirigir correctamente tanto persianas como otros sistemas de sombra. La fachada multicapa dinámica, que reacciona como un camaleón a su entorno, fue integrada por Mike Davis en sociedad con Richard Rogers. Este tipo de fachada

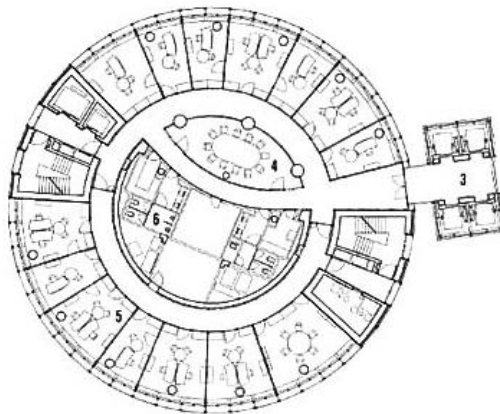
---

<sup>21</sup> Un sistema de gestión de edificios (BMS) es un sistema de control por ordenador instalado en edificios que controla y supervisa el equipo de la construcción mecánica y eléctrica, tales como la ventilación, la iluminación, sistemas de energía, sistemas contra incendios y sistemas de seguridad

funciona de forma similar a la piel humana -“edificios que respiran”- como lo demuestra el proyecto de la torre RWE AG que se ubica en Essen, Alemania. Entre las principales funciones de su doble fachada de vidrio están: el aprovechamiento de la iluminación natural, servir de sistema de ventilación natural, monitorear la calidad del aire, controlar las ventanas operables, la temperatura y el sistema de persianas y boca de pez -integradas al módulo de la fachada-, así como generar la energía del edificio por medio de paneles fotovoltaicos localizados en la cubierta superior.

### **Análisis Torre RWE AG, Essen, Alemania**

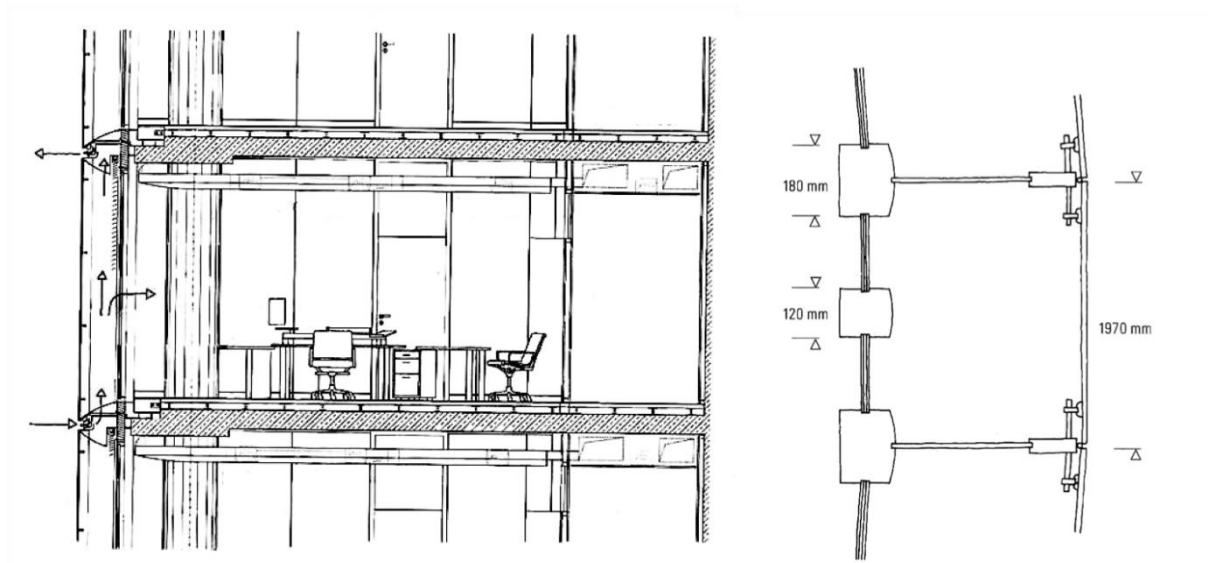
La principal preocupación del diseño de esta torre cilíndrica de treinta y un plantas es la ventilación natural. Ésta se logra gracias a su fachada de doble hoja, que está destinada a proporcionar una buena ventilación natural para las áreas perimetrales de oficinas. El espacio interior de la fachada se suministra con el aire exterior a través de una disposición de meandros de lumbreras de admisión y escape.



**Figura III.24. Planta tipo, Torre RWE AG, Essen, Alemania.**

La doble piel permite que la Torre RWE "respire". Se compone de una lámina exterior hecha de paneles fijos de vidrio - 2 x 3,6 millones de módulos que permiten la circulación de aire a través de las ranuras correspondientes, y una hoja interior con paneles operables. Existe además un sistema de protección solar que está instalado entre las dos capas y que supone cincuenta centímetros extras. Los Strips, colocados en las líneas de ajuste para los módulos de la fachada exterior, están perforados en la parte derecha y sólidos en la parte izquierda, en el nivel inferior. La

disposición de estos elementos se invierte en el nivel superior, al lado del techo, lo que garantiza una diagonal mínima de ventilación y evita el retorno a la parte posterior del aire recién evacuado de los espacios. La capa interior de la doble piel es una fachada convencional aislada por paneles plegables que se pueden controlar manualmente.

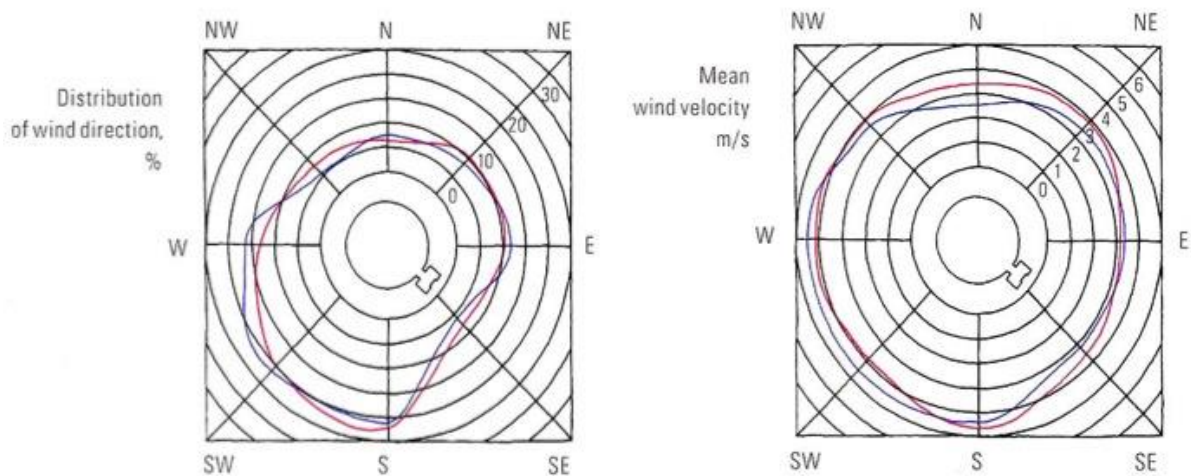


**Figura III.25. Corte y detalle Torre RWE AG.**

Cuando la radiación solar es fuerte, la temperatura dentro de la doble piel se eleva como en un invernadero. Sin embargo, debido a las entradas y salidas de aire instaladas en la parte superior e inferior de cada piso, el aire convectivo sube a fin de eliminar el calor. Un experimento que usaba un modelo de tamaño, demostró que el más caliente. Por supuesto, el efecto de almacenamiento térmico se convierte en un aspecto vital cuando hay necesidad de calentar las habitaciones, como en la temporada de invierno.

La doble piel permite la ventilación natural en la torre. Incluso los espacios de trabajo superiores pueden disfrutar de un control natural de aire sin tener que luchar contra las ráfagas de viento, pues los usuarios pueden controlar su propio entorno.

El hecho de que se utilice ventilación natural en un rascacielos, puede dar lugar, entre la gente que habita o trabaja en ellos, a temores como los siguientes: que sea necesaria una fuente de mucha fuerza para abrir las puertas de las habitaciones, que el viento, al fluir desde la habitación al pasillo, sople sobre los papeles, o que el viento pueda producir en el interior del edificio ruidos molestos. En realidad, la ventilación natural puede ser restringida o influenciada por los parámetros de la construcción: (Mech, 2004)



**Figura III.26. Análisis de viento anual Essen, Alemania. (Mech, 2004).**

Para la edificación de la torre de Essen, se midieron las velocidades del viento en la estación meteorológica local. Se constató que los vientos son predominantemente del sur, el suroeste y el oeste, con una velocidad media de 4,0 m/s.

Debido a la diferencia de altura, se investigaron más a fondo los perfiles del viento cerca de los rascacielos y las condiciones meteorológicas en varios niveles, encontrando lo siguiente:

- a una altura de ciento diez metros, la velocidad del viento es superior en aproximadamente un 20%.
- a una altura de sesenta metros, la velocidad del viento es superior en aproximadamente un 5%.

Estos datos se utilizan para la simulación de la ventilación cruzada.

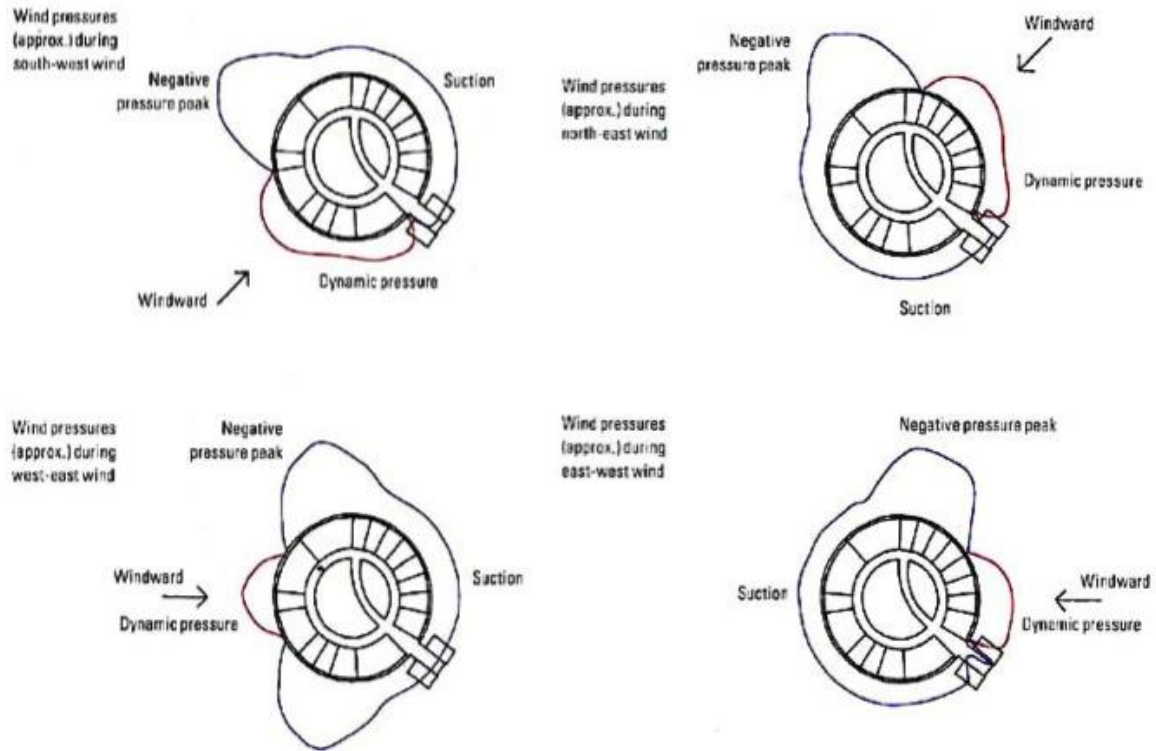


Figura III.27. Presión cualitativa del viento en la superficie del edificio.

El control de la ventilación, de la temperatura, de los dispositivos de enfriamiento, el sistema de fachada simple y doble o la cámara de aire ventilada, son otras de las funciones que ya se integran en las fachadas de los rascacielos en diferentes partes del mundo.

## Análisis Torre Swiss Re, Londres, Inglaterra

En la torre Swiss Re, proyecto de Norman Foster, localizada en Londres, Inglaterra, la fachada está diseñada con elementos conceptos bioclimáticos que además de integrar jardines interiores que ayudan a regular la temperatura interior, regulan la velocidad del viento y permiten la ventilación natural por medio de ranuras en su envolvente; este diseño es tan efectivo que no se requiere el uso de aire acondicionado la mayor parte del año.

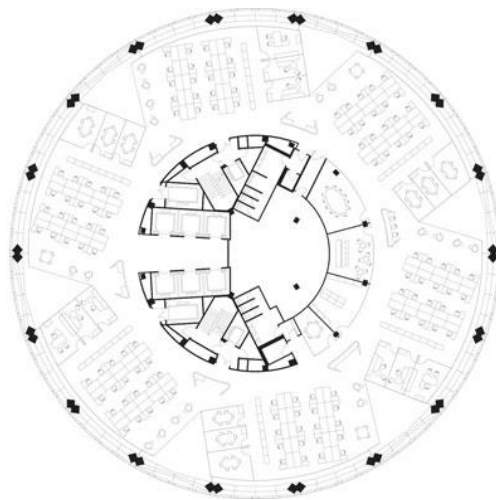


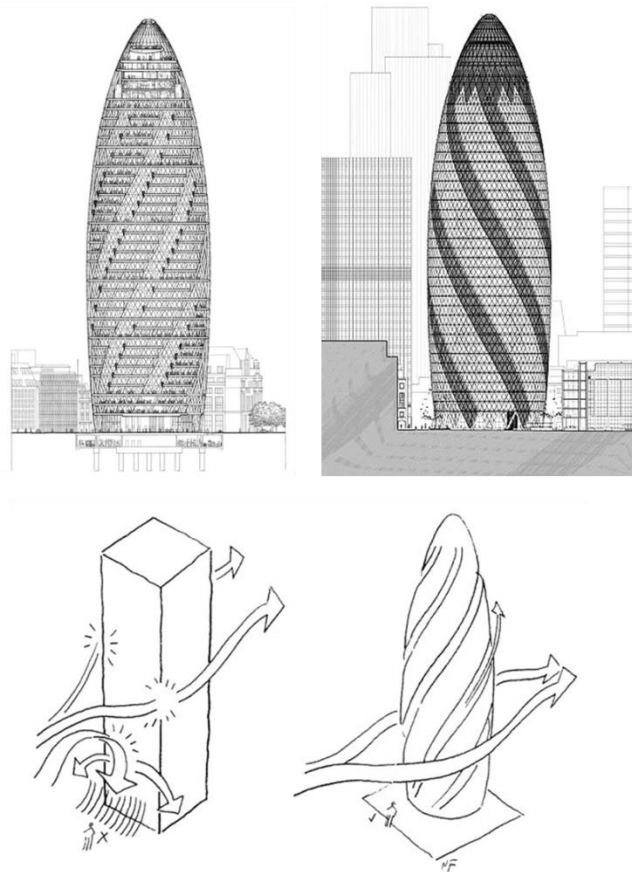
Figura III.28. Planta tipo torre Swiss Re, Londres, Inglaterra, Norman Foster. (Foster and Partners, 2013)

Siendo el primer edificio alto ecológico de Londres -y una adición instantáneamente reconocible al skyline de la ciudad- esta sede de Swiss Re tiene sus raíces en un enfoque radical tanto técnico, como arquitectónico, social y espacial. Con cuarenta y un pisos de altura, ofrece 46.400 metros cuadrados netos de espacio para oficinas, junto con una galería de tiendas y cafeterías a la que se accede desde una plaza de reciente creación.

Caracterizado por una planta circular con geometría radial, el edificio se ensancha en el perfil que se eleva mientras que se estrecha hacia su vértice. Esta forma tan distintiva responde a las limitaciones del lugar: el edificio parece más delgado que un bloque rectangular de tamaño equivalente y el adelgazamiento de su perfil en la base maximiza el espacio público de la calle.



En cuanto al impacto del medio ambiente, su perfil de viento reduce las desviaciones en comparación con una torre rectilínea de tamaño similar, lo cual ayuda a mantener un ambiente confortable en la planta baja y crea diferencias de presión externas que son explotadas para conducir un exclusivo sistema de ventilación natural.



**Figura III.29. Concepto del viento en comparación con una figura prismática. (Foster and Partners, 2013)**

Conceptualmente, en la torre se desarrollan ideas exploradas en el Commerzbank y, anteriormente, en el Climatroffice: un proyecto teórico con Buckminster Fuller que sugería una nueva relación entre la naturaleza y el lugar de trabajo, basada en la creación de un recinto energéticamente consciente que resolviera la construcción de las paredes y el techo con una piel triangulada continua. Aquí, la estructura diagonal



arriostrada de la torre permite obtener un espacio libre de columnas y una fachada totalmente acristalada, lo que abre el edificio a la luz y a las vistas.

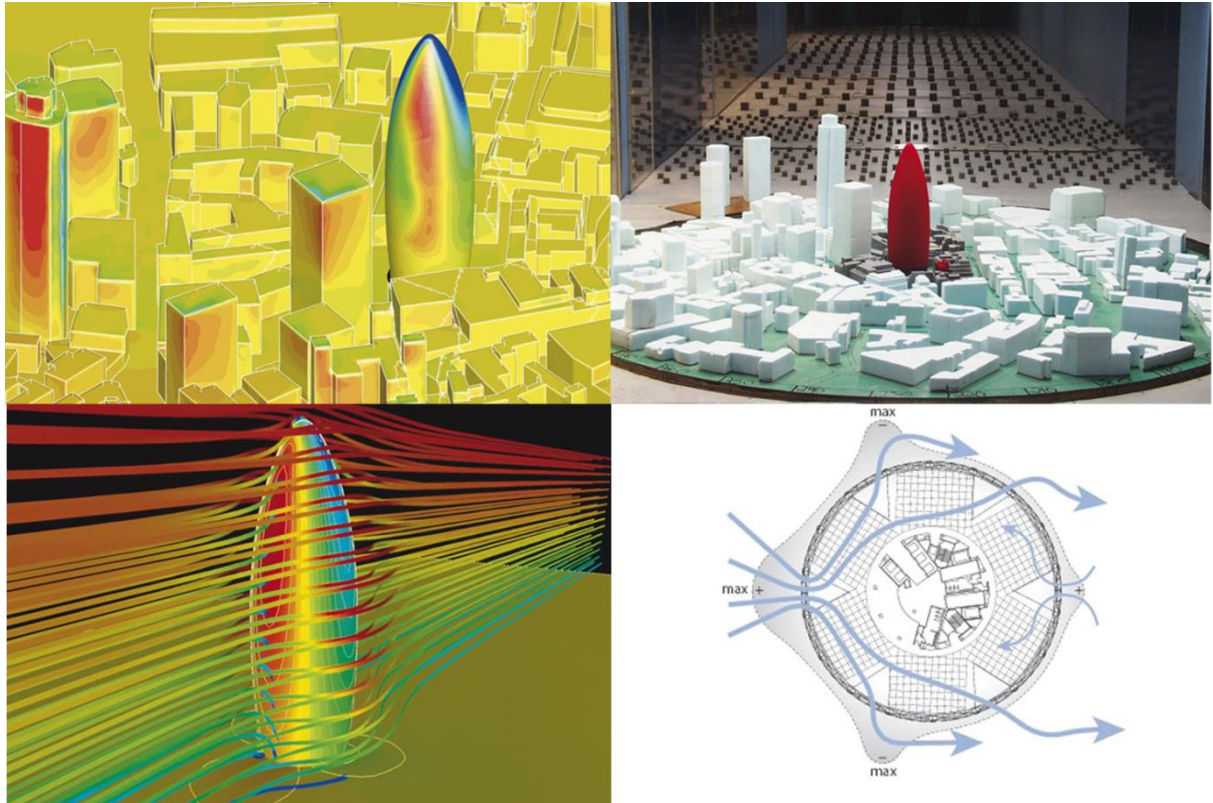


Figura III.30. Análisis del viento. (Foster and Partners, 2013)

Los atrios son los espacios que se abren en la planta tipo y a lo alto del edificio. Estos espacios son un foco social natural, así como puntos de climatización y áreas de reunión, y funcionan como "pulmones" de la construcción, permitiendo la distribución de aire fresco a través de los paneles de la fachada. Este sistema reduce la dependencia del edificio de aire acondicionado y junto con otras medidas sostenibles, significa que utiliza sólo la mitad de la energía consumida por una torre convencional en aire acondicionado para oficinas.

Pero todo esto no sería posible sin la investigación, la tecnología y un esfuerzo multidisciplinario en donde el diseño arquitectónico desempeña una tarea importante.

El diseño adaptable al medio ambiente encuentra en las complejas estructuras del mundo vegetal y animal muchos indicadores para posibles investigaciones científicas. Un mejor entendimiento de estos sistemas puede ayudar a encontrar un acercamiento holístico a la arquitectura en general.

Hay diferentes elementos que se integran a las fachadas, como paneles, persianas, parteluces metálicos y persianas de vidrio o de nuevos y diferentes materiales. A su vez, a estos elementos se le integran sensores, celdas fotovoltaicas, reguladores de viento, etc.

Algunos ejemplos son los tejidos metálicos, que se utilizan como pantallas de control de viento y de control solar externas. Éstas generan sombras y a su vez cambios de ambientación constantes en el interior resultando además casi transparentes. Según su diseño y material pueden llegar a disminuir hasta el 50% de la aportación térmica en las fachadas.

Por su parte, las persianas de vidrio son utilizadas en las fachadas para control solar, regular los niveles de iluminación natural y generar energía. Instaladas generalmente en grandes superficie de vidrio, estas unidades son móviles y controladas automáticamente. Según la posición del sol puede ser transparente, holográfica, estampadas, reflectivas o con células fotovoltaicas opacas, translucidas o transparentes; se pueden colocar de forma horizontal o vertical. Las hay en diferentes materiales, principalmente en vidrio y aluminio.

A los módulos de fachada se han integrado diferentes tecnologías como vidrios holográficos, persianas integradas o gas argón, entre otros. También se ha buscado mejorar su resistencia al fuego, al agua y al viento, además de que son capaces de operar de forma independiente su apertura para brindar ventilación natural al interior del edificio.

Existen importantes proyectos e investigaciones sobre las fachadas que nos permiten visualizar qué tan lejos se puede llegar y explotar estos volúmenes. Como



ejemplo de ello, está la propuesta de una “arquitectura biomimética”<sup>22</sup> en la que la ciencia avanza sin pausa. La genética, junto con la nanotecnología y la tecnología de materiales, son de las ciencias que más aportaciones sorprendentes tienen para ofrecer. Este nuevo concepto, conocido como arquitectura genética, se basa en algo llamado “biomímesis”<sup>23</sup>: un enfoque que pretende convertir los edificios en auténticos seres vivos habitables.

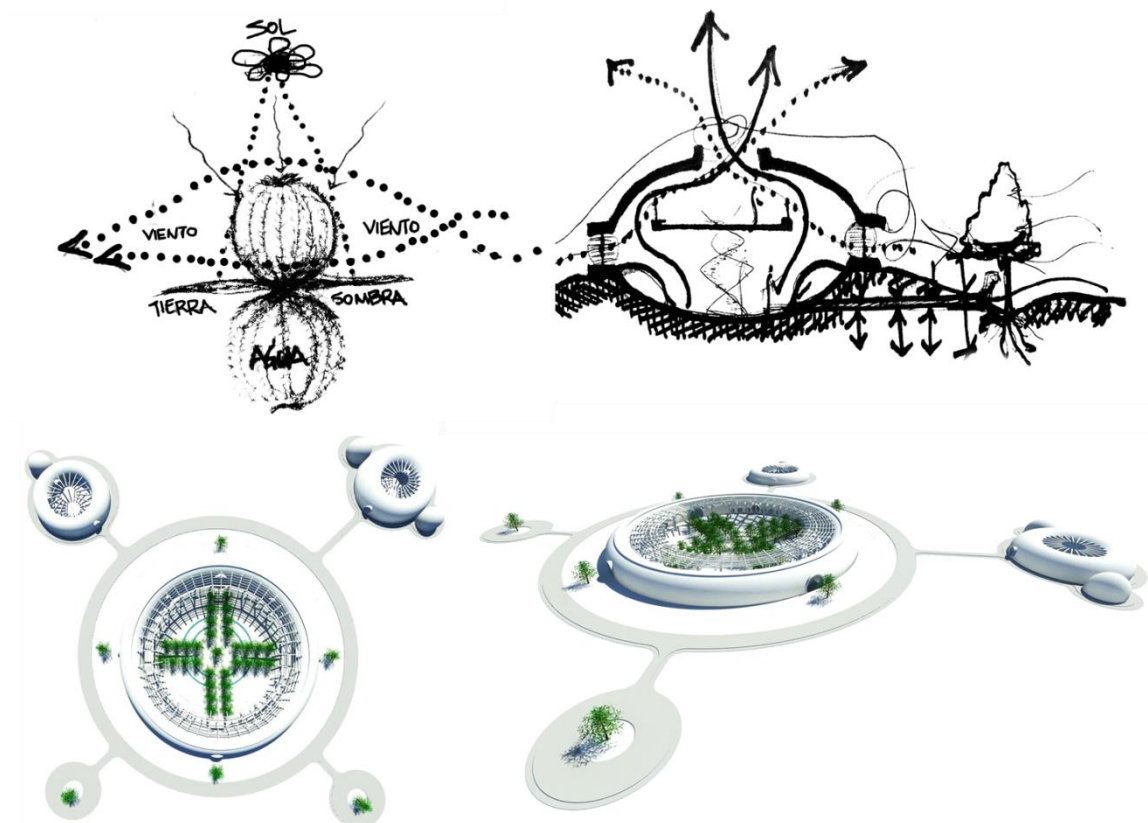


Figura III.31. Proyecto conceptual biomimético *Echinocactus grusonii*. (Morales Cruz, 2013)

Entre las especulaciones que aporta esta nueva rama de la investigación, podemos encontrar edificios cuyas fachadas y techos sean de materia vegetal, o incluso de piel, lo que aportaría el de para la calefacción por medio de venas en las que

<sup>22</sup> Arquitectura inspirada en el funcionamiento de la naturaleza.

<sup>23</sup> Biomímesis (de bio, vida y mimesis, imitar), también conocida como biomimética o biomimetismo, es la ciencia que estudia a la naturaleza como fuente de inspiración, nuevas tecnologías innovadoras para resolver aquellos problemas humanos que la naturaleza ha resuelto, mediante los modelos de sistemas (mecánica), y elementos que imitan o se inspiran en ella.

circularía sangre o savia. Las paredes se calentarían o enfriarían según la estación y aportarían oxígeno para la ventilación; la estructura sería capaz de obtener por sí sola todos los nutrientes necesarios para que se mantuviese siempre vivo y en forma.

Algunas firmas de arquitectos como Kenneth Yeang, Hamzah & Yeang, Norman Foster, Renzo Piano, Richard Rogers o Tomas Herzog, entre otras, han establecido una práctica global del diseño ecológico en la que no se trata ya sólo de imaginar, sino también de explotar las fronteras científicas del diseño ecológico y todas las implicaciones de la construcción vertical donde la arquitectura tiene la tarea de mantener un equilibrio responsable que asegure una mejor calidad de vida.

El proyecto del arquitecto Kenneth Yeang<sup>24</sup>, Eco Torres en Londres, es un ejemplo claro del diseño de fachadas bioclimáticas. Este diseño destaca por su paisaje vegetal vertical integrado a las fachadas que protege del clima exterior mediante el uso de balcones verdes.



**Figura III.32. Editt Tower del arquitecto Kenneth Yeang.**

---

<sup>24</sup> Kenneth Yeang (Penang, 1948) es un arquitecto malasio, reconocido a nivel mundial por el desarrollo de soluciones ambientales para rascacielos.



La correcta orientación de su envolvente ayuda a la ganancia de calor en temporada de invierno, y de sombra durante el verano; las ranuras en las fachadas norte y sur generan una ventilación natural; a cada fachada están integradas persianas operables que se ajustan a la estación del año; la vegetación, además de controlar el viento, absorbe cierta cantidad de energía, con lo cual se genera un ecosistema interior agradable.

El proyecto en su conjunto, crea un ambiente más humano para el usuario y, gracias a su diseño, los sistemas mecánicos de climatización serán utilizados con poca frecuencia.

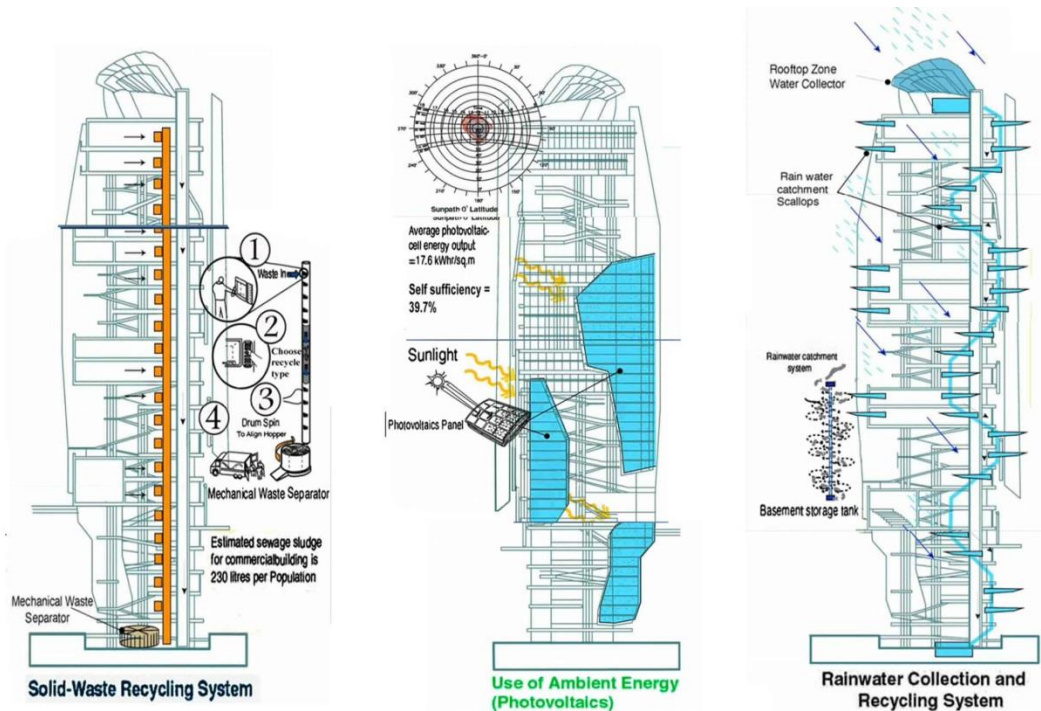


Figura III.33. Diferentes componentes de la Torre Editt.

La fachada de los edificios ya no será considerada por mucho tiempo más como una envolvente estática e inerte, es decir, una barrera sin una dinámica con el medio ambiente que sólo supone un filtro con energía que pasa por él para ser explotada. Pronto, las fachadas bioclimáticas serán una importante aportación para la envolvente del futuro, diseñadas y equipadas para tomar ventajas de las nuevas tecnologías nanométricas y ofrecer una nueva estética para la arquitectura bioclimática.

En el futuro, las fachadas serán un elemento importante de la sustentabilidad de los edificios; en un mundo con once billones de habitantes o más, será inevitable la búsqueda de recursos renovables por medio del sol, el aire, el agua y la tierra. Generar energía será un paso importante en el desarrollo de la arquitectura. (Itta , 2008)

## **Conclusiones**

El análisis del impacto del viento en las edificaciones es uno de los factores más importantes y, mucho más, en edificaciones de gran altura, ya que el viento define su altura, su composición estructural y la forma arquitectónica final. Este análisis determinará qué tan eficiente es la edificación ante el impacto de viento en condiciones tanto exteriores como interiores.

El viento es un parámetro de gran importancia para el diseño arquitectónico, en algunos climas como los cálidos y húmedos es la principal forma de climatización. El análisis del viento se hace por medio de maquetas en túneles de, o cajas de, viento con el fin de determinar las características del comportamiento de los modelos.

Para minimizar los costes de construcción y maximizar los ingresos, los rascacielos toman generalmente la forma de cuadrados o rectángulos. Éstas no son formas



especialmente aerodinámicas y en su comportamiento ante el del viento, surgen los llamados "vórtices".

El viento en un rascacielos rectangular empuja en la cara plana del edificio antes de fluir alrededor de sus lados, donde finalmente se separa de la superficie de la estructura.

La diferencia de presiones en la parte frontal y la parte posterior de las caras del edificio genera vórtices o remolinos de viento que fluyen hacia la parte baja del edificio. Los vórtices atraen y repelen el edificio en una dirección perpendicular al viento en frecuencias que pueden llegar a ser peligrosas para la estructura.

Para minimizar la formación de remolinos se debe dirigir el viento. La orientación del edificio tendrá la cara más larga de la estructura paralela a los vientos dominantes. La curvatura de los vértices de un edificio puede asimismo hacerlo más aerodinámico. Un giro en la composición estructural del edificio ayuda a dirigir el viento, impidiendo la formación de vórtices. Del mismo modo, al girar un edificio se puede reducir al mínimo la carga del viento a partir de la dirección predominante.

Por ejemplo, el carácter curvilíneo de la Swiss Re genera diferencias de presión en su cara que minimizan las cargas de viento. La parte superior toma una forma en punta o con una abertura en la parte superior, como el del Financial Center de Shanghái, que también puede servir para minimizar la fuerza del viento sobre el edificio.

Para determinar la mejor configuración de un edificio en un lugar en particular, las pruebas de túnel de viento se realizan desde el principio del diseño. La prueba determina la fuerza y el comportamiento del viento, tanto en la obra como en las zonas que lo rodean, sobre todo al nivel de la calle. También puede proporcionar otra información útil, tal como la probabilidad de concentración de contaminantes de escape en el sistema de admisión de aire del edificio.





Las pruebas de túnel de viento son procesos iterativos. Los diseños de muchos edificios altos son refinados y probados varias veces sobre la base de los resultados de estas pruebas. Para entender por qué algunos diseñadores de rascacielos ahora se refieren a sus edificios como si hubieran sido "diseñados" en un túnel de viento, hay que tomar en cuenta que los resultados de las pruebas de túnel de viento representan hoy en día una parte integral del diseño moderno de los rascacielos.

El viento golpea la cara de los edificios y procede después fluir alrededor de sus lados. El flujo de viento se separa de la cara del edificio por el lado de sotavento de la construcción, en ciertas velocidades del viento se generan vórtices o remolinos y a medida que estos vórtices se desprenden de la construcción, se genera un desequilibrio en las paredes del edificio; los vórtices provocan en el edificio una condición de resonancia que puede causar movimientos laterales en la construcción.

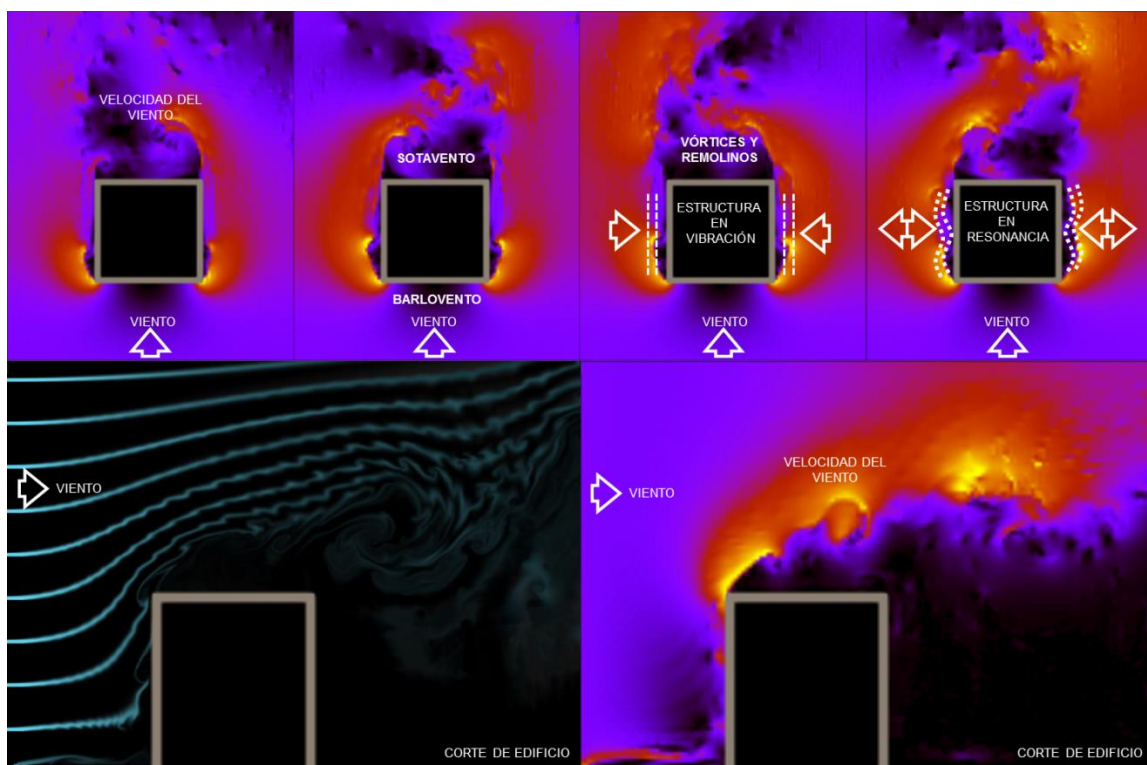


Figura III.34. Análisis de la velocidad del viento en un edificio. (Morales Cruz, 2013)

La aerodinámica es también una consideración importante en el diseño de súper rascacielos. Se necesitan muchas pruebas de diferentes formas y configuraciones para determinar el diseño óptimo de un rascacielos. Las formas aerodinámicas, así como las formas sinuosas y con vértices, pueden servir para limitar el comportamiento de los vórtices, pues éstos pueden comprometer la integridad de torres altas.

La mayoría de los códigos de construcción abordan las cargas de viento permisibles en los nuevos edificios. Pero debido a que se basan en las condiciones generales, que a menudo no tienen en cuenta los aspectos singulares de la torre, los diseños individuales incluyen los efectos aerodinámicos de la forma del edificio, así como el efecto, la influencia de los edificios adyacentes, la topografía local, la dinámica de efectos de direccionalidad del viento y las corrientes de aire localizadas.

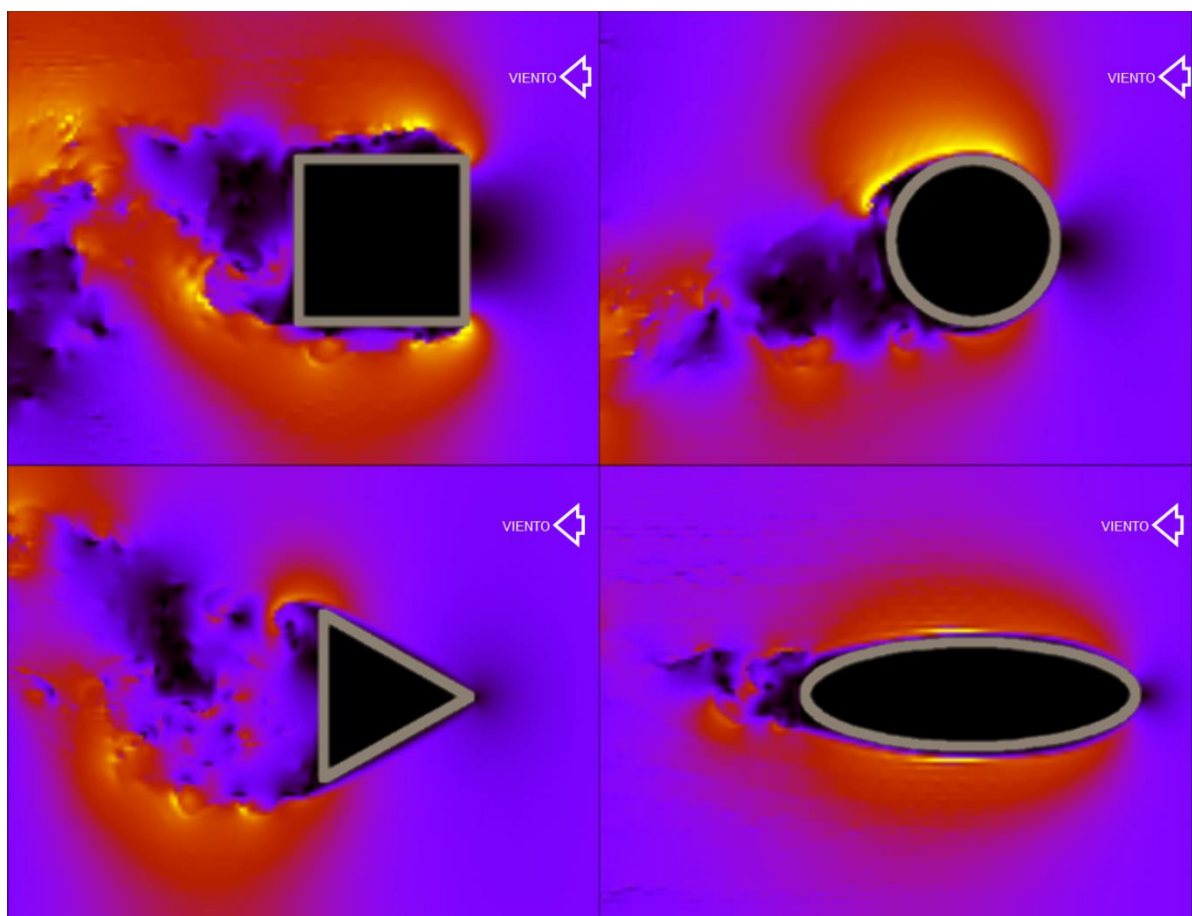
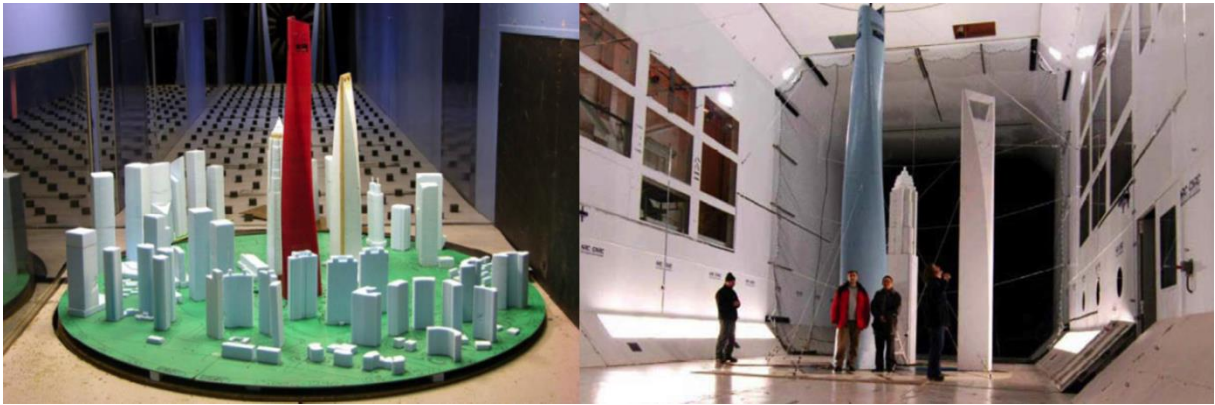


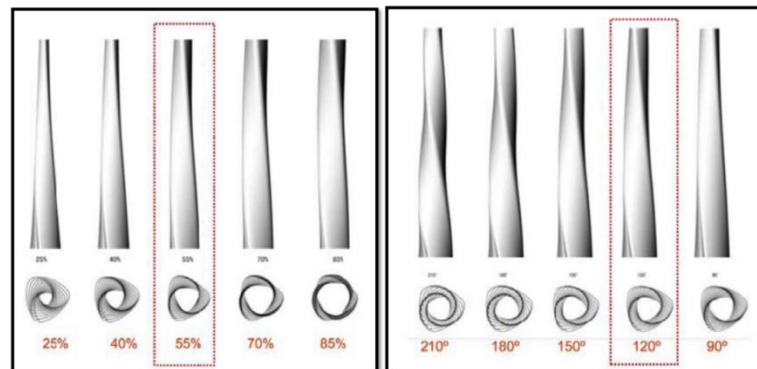
Figura III.35. Análisis de velocidad de viento para diversas formas de edificaciones. (Morales Cruz, 2013)

Por esta razón, los códigos de construcción permiten, y animan a menudo, la prueba de túnel de viento que se realiza para evaluar el rendimiento de un edificio propuesto en las condiciones de diseño reales. El costo de un estudio de este tipo, aunque no es insignificante, palidece en comparación con el ahorro en el revestimiento y la estructura, que a menudo se eleva a millones de dólares.



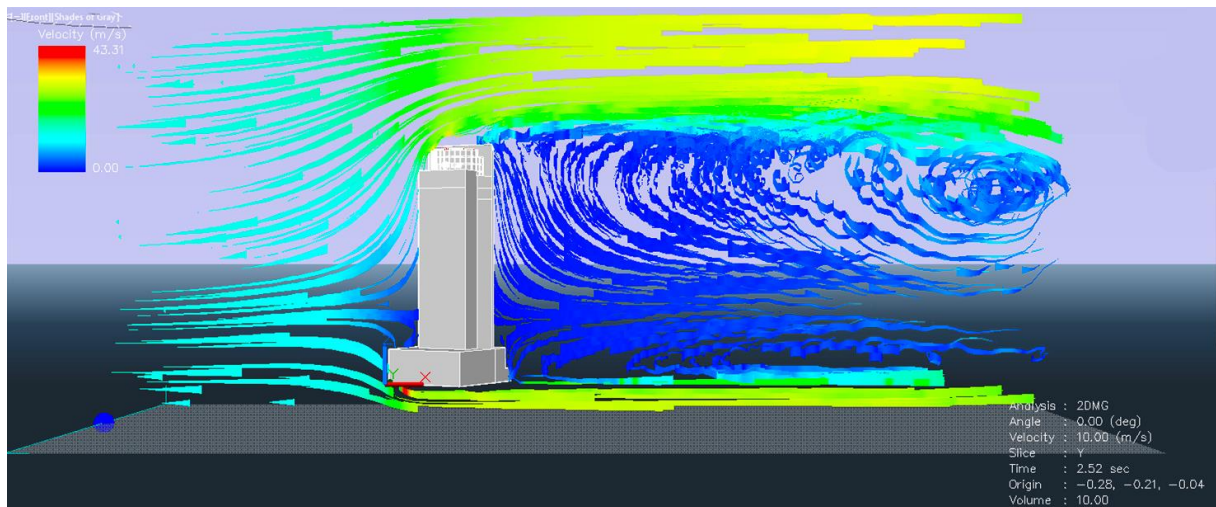
**Figura III.36. Prueba en túnel de viento de la Torre Shanghai.**

El primer paso en las pruebas de túnel de viento consiste en la construcción de una réplica del edificio a prueba y de todos los edificios que se encuentren en un radio de media milla del mismo, por lo general a escala 1:400. La réplica se coloca sobre una plataforma giratoria en un túnel controlado por ordenador que cuenta con un ventilador capaz de simular un viento de 60 mph (100 km / h). Miles de sensores se colocan en el modelo.



**Figura III.37. Estudios en túnel de viento de la Torre Shanghai, izquierda muestra la eficiencia del edificio en diferentes tamaños y derecha muestra la eficiencia según el grado de rotación del modelo.**

Para efectuar el análisis, se replica la velocidad del viento local de la zona de análisis, incluyendo una distribución realista de las velocidades de ráfagas, dirigiéndose al modelo a escala. Como la dirección, el ángulo y la fuerza del viento cambian, las computadoras registran las condiciones del viento en la base de éste y de otros edificios de la zona. El humo se utiliza a menudo para hacer visibles los vórtices de viento.



**Figura III.38. Análisis de viento de la Torre Mayor. (Morales Cruz, 2013).**

# Capítulo IV.

## TENDENCIAS DE LOS RASCACIELOS APLICACIÓN METODOLÓGICA

En este cuarto capítulo abordaré la metodología de análisis que se utilizó para determinar la tendencia de las edificaciones de gran altura, basada en la tesis del Dr. Jorge M. A. Sánchez de Antuñano, titulada “Visualizing Complex Designed”





## La visualización del proyecto en los rascacielos

Las entidades contempladas en este método de visualización para la proyección de rascacielos, sirven para poder establecer las tendencias de los mismos. Con tres categorías vamos a estructurar el método de diseño. Para ello es necesario poder medirlas y cuantificarlas de manera tal que podamos contar con una guía objetiva que nos permita proyectar de forma más eficiente. Básicamente estas condiciones se reflejan en tres aspectos: Área usable<sup>25</sup> (Useful Space), Flexibilidad<sup>26</sup> (Flexibility) y Amueblabilidad<sup>27</sup> (Furnishability). ( Sánchez de Antuñano Barranco, 2006).

Expondré a continuación un grupo de datos (affordances mensurables<sup>28</sup>) con el fin de explicar el concepto del enfoque sobre las entidades de usabilidad y el rendimiento, y las relaciones en la planta arquitectónica de cada rascacielos. A partir de los datos medibles en una oficina de trabajo, el caso de estudio que presento se centra en tres categorías: el Área Usable, la Flexibilidad y la Amueblabilidad.

El **Área Usable** se refiere a la calidad de un diseño que se centra en desperdiciar el mínimo espacio en lugar de reducir de tamaño cada espacio para minimizar el costo total de la construcción. La Usabilidad hace referencia a la cualidad de un proyecto de ofrecer las condiciones del entorno para apoyar las actividades específicas de una empresa.

La **Flexibilidad** se refiere a la calidad de una planta diseñada, que concibe y planifica diferentes usos en un mismo espacio determinado a fin de apoyar, y no limitar, los diferentes estilos de vida individuales de los usuarios, ya que el usuario cambia sus estilos de vida a través de un largo período de tiempo.

---

<sup>25</sup> El área usable se refiere a la calidad en un diseño que se centra en el mínimo espacio desperdiciado en lugar de la reducción del tamaño de cada espacio para minimizar el costo total de construcción.

<sup>26</sup> La flexibilidad se refiere a la calidad de una planta diseñada, que concibe y planifica diferentes usos en un espacio determinado, a fin de apoyar y no limitar los diferentes estilos de vida individuales de los usuarios.

<sup>27</sup> El término Amueblabilidad se refiere a la cualidad que cada espacio ofrece a su usuario para dar cabida a diversas series de actividades y la superposición de artefactos.

<sup>28</sup> Affordances mensurables es un grupo de generadores de datos medibles.



El término **Amueblabilidad** se refiere a la cualidad que cada espacio ofrece a su usuario para dar cabida a diversas series de actividades, y a la superposición de artefactos y objetos incrustados en la práctica de la vida laboral, siguiendo con el propósito particular de cada empresa. Es decir, este término hace referencia a la cualidad de un proyecto de ofrecer las condiciones más óptimas del entorno para apoyar las actividades específicas de una empresa.

### **Método de Visualización**

Todas las categorías visualizadas se miden y se registran en una hoja de cálculo. A partir de los datos de base de las características individuales de cada diseño, se comparan por su categoría y por las combinaciones posteriores a la obtención de las medidas generales. De la totalidad de los ejemplos, los mejores y los peores son visualizados a continuación en un nuevo formato que permite el análisis y las conclusiones. A partir de tal hecho, la búsqueda de la presentación visual se hace posible con el análisis y la obtención de patrones de datos y números que pueden ofrecer a los diseñadores de otras áreas datos duros para trabajar en sus proyectos futuros.

Se establece a continuación un análisis de once diferentes edificios (rascacielos) para la aplicación de una metodología de proyección arquitectónica; esto para poder determinar las tendencias de los mismos en cuestiones de espacialidad interna.



**Figura IV.1.Casos de análisis.**



## **Casos de estudio**

Los casos estudio y el motivo por el que se seleccionaron específicamente estos rascacielos; es el resultado de una selección aleatoria que se hizo de forma consiente en ciertos parámetros que los caracterizan.

La ubicación geográfica, que fueran de distintos lugares para evidenciar el parecido tipológico entre uno y otro. Ya que podemos encontrar mucha semejanza entre un rascacielos ubicado en México y otro que está ubicado en Japón, cuando las condicionantes de clima y sociedad son totalmente diferentes, en este sentido las edificaciones, deben ser definidas por el clima y no que las edificaciones definan el clima.

El uso y funcionamiento, por su uso actual todos tienen una función primordial y común; es el espacio de oficinas. Uso que desde los inicios de esta tipología ha estado presente y que seguirá presente, solo hasta hace poco se empezó a combinar con otros usos, como el de vivienda y comercio, dando como resultado una edificación de usos múltiples.



## **Rascacielos Umeda Sky**

El Umeda Sky es el séptimo edificio más alto de Osaka (Japón) y una de las imágenes más reconocibles de la ciudad. El edificio tiene 173 metros de altura y fue diseñado por Hiroshi Hara.

Consiste en dos torres iguales de cuarenta pisos conectadas en su parte más alta por puentes y por una escalera móvil que cruza el ancho atrio central. Corona el edificio una plataforma cuadrada de cincuenta y cuatro metros de lado, perforada en su centro por un anillo acristalado.

Osaka es la tercera ciudad más grande de Japón, después de Tokio y Yokohama. Se encuentra ubicada en la isla principal de Honshu, en la desembocadura del río Yodo, en la bahía de Osaka. La ciudad es uno de los puertos y centros industriales más importantes de Japón, así como la capital de la prefectura de Osaka. Forma parte de la región de Kansai y es el núcleo del área metropolitana Osaka-Kōbe-Kioto, que tiene una población de 2.669.000 habitantes.

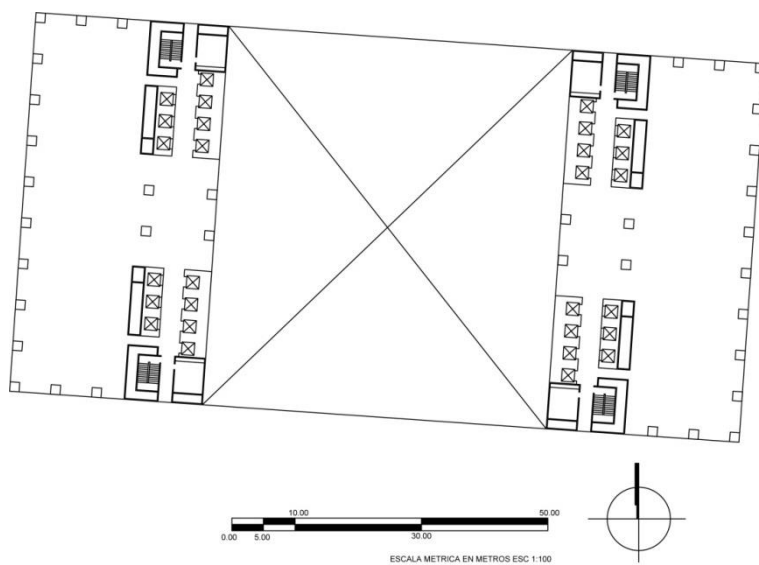
Localizado en Umeda, distrito de Kita-ku, el edificio fue concebido originalmente en 1988 como parte de “la ciudad del aire”, que incluía cuatro torres interconectadas. Al final, por consideraciones prácticas, el número de torres fue sólo de dos.

El arquitecto quiso dar al edificio la apariencia de una ciudad flotante, para lo cual Hara ideó el uso de cristales especiales en la parte superior del mismo, los cuales reflejan el cielo como paisaje exterior, contrastando con la cerámica opaca de su parte inferior. Fue construido por la Takenaka Corporation y se terminó en 1993. El edificio ofrece un observatorio en el tejado, «The Floating Garden Observatory», así como un mercado al nivel de la calle que pretende recrear la atmósfera de Osaka de principios del siglo XX.





**Figura IV.2. Rascacielos Sinma Umeda Sky.**



## **Rascacielos Torre Agbar**

La torre Agbar es un rascacielos de Barcelona, España, ubicado en la confluencia de la avenida Diagonal y la calle Badajoz, junto a la Plaza de las Glorias y que marca la puerta de entrada al distrito tecnológico de Barcelona conocido como 22@.

El distrito de Sant Martí es el décimo de los diez distritos en que se divide administrativamente la ciudad de Barcelona. Se sitúa en el límite noreste de la ciudad y limita con el municipio de San Adrián de Besós. Es el segundo distrito más poblado con 221,029 habitantes (datos de 2005), el cuarto en extensión (con 10,8 km<sup>2</sup>) -aunque segundo en extensión urbanizada- y el sexto en densidad de población (con 20,466 hab/km<sup>2</sup>).

La torre tiene treinta y cuatro plantas sobre la superficie, además de cuatro plantas subterráneas, lo que le da un total de 145 metros de altura, convirtiéndose, en el momento de su apertura en junio de 2005, en el tercer edificio más alto de la capital catalana.

El edificio posee en total 50.693 metros cuadrados de superficie, de los que 30.000 son de oficinas, 3.210 de instalaciones técnicas, 8.132 de servicios -incluyendo un auditorio- y 9.132 de estacionamiento.

Fue inaugurado oficialmente por los Reyes de España el 16 de septiembre de 2005 y tuvo un coste de ciento treinta millones de euros. El edificio es propiedad del grupo multinacional Agbar, que tiene su sede corporativa en el mismo y que ocupa la mayoría de sus plantas destinando el resto a alquiler.





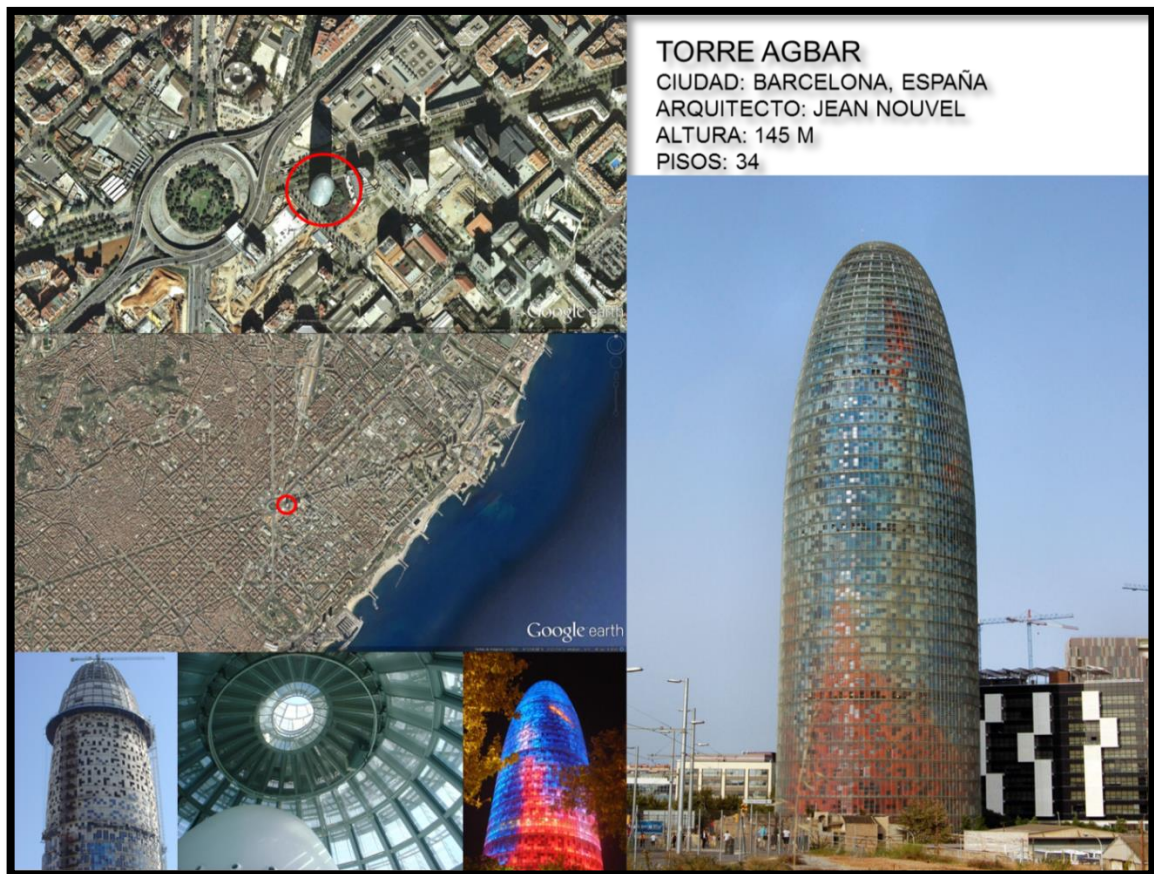
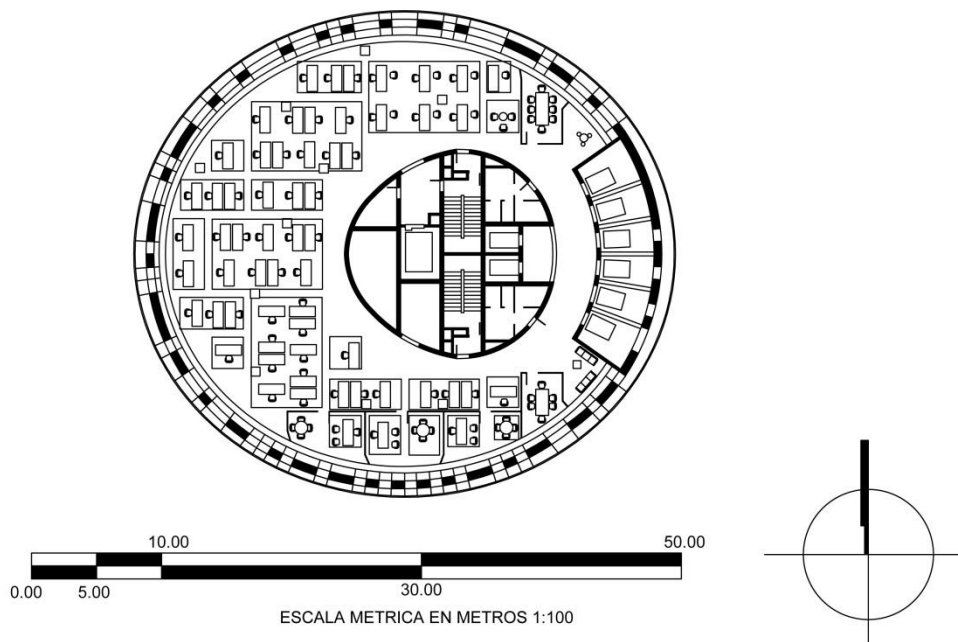


Figura IV.3.Rascacielos Torre Agbar.



## **Rascacielos Torre Max Frankfurt.**

Con el objetivo de transparencia del medio ambiente en mente, Murphy / Jahn diseñó la sede de Bayer en Leverkusen, Alemania, con un activo: fachada sensible ambientalmente. Una doble piel crea buffers y zonas de control ambiental para abordar el confort de los ocupantes.

Para proporcionar un control solar, se ubicaron persianas de aluminio perforado de doce pulgadas (treinta centímetros) de ancho entre las dos paredes de cristal, exterior al espacio ocupado. El patrón de perforación fue diseñado cuidadosamente para mantener la conexión visual con el exterior y reducir al mínimo el deslumbramiento y la insolación. Los extremos del edificio, sin paredes dobles de cristal, son la sombra de una malla metálica exterior. En ambos casos, la ganancia solar directa está bloqueada a fin de no producir una carga de calor radiante secundaria en el espacio ocupado.

Entre las dos paredes de vidrio de la doble piel, se desarrolla un flujo de aire laminar que controla una mayor transferencia de calor. Las rejillas están separadas por dos capas de aire. La capa más externa se calienta por la luz solar en los acristalamientos exteriores y las persianas. Este aire caliente se mueve hacia arriba debido a un efecto de chimenea natural y sale a través de puntos de venta en el techo. Esta convección es alimentada por el aire fresco que se recibe por las entradas en la parte inferior de las tejas de los de vidrio. La capa interna de aire es más fresca. El aire es introducido a través de los conductos de tierra hacia el lado interior de las persianas. Esta configuración aspira aire en el espacio ocupado a través de convectores de tubo de aletas de temple y de la creación de una ventilación natural controlada por temperatura cómoda. Las bobinas radiantes en el techo de hormigón a la vista, son la principal fuente de control de la temperatura, lo que reduce el papel del aire como medio de intercambio de temperatura.

El proyecto se detuvo en la fase de diseño por razones tanto económicas como políticas.



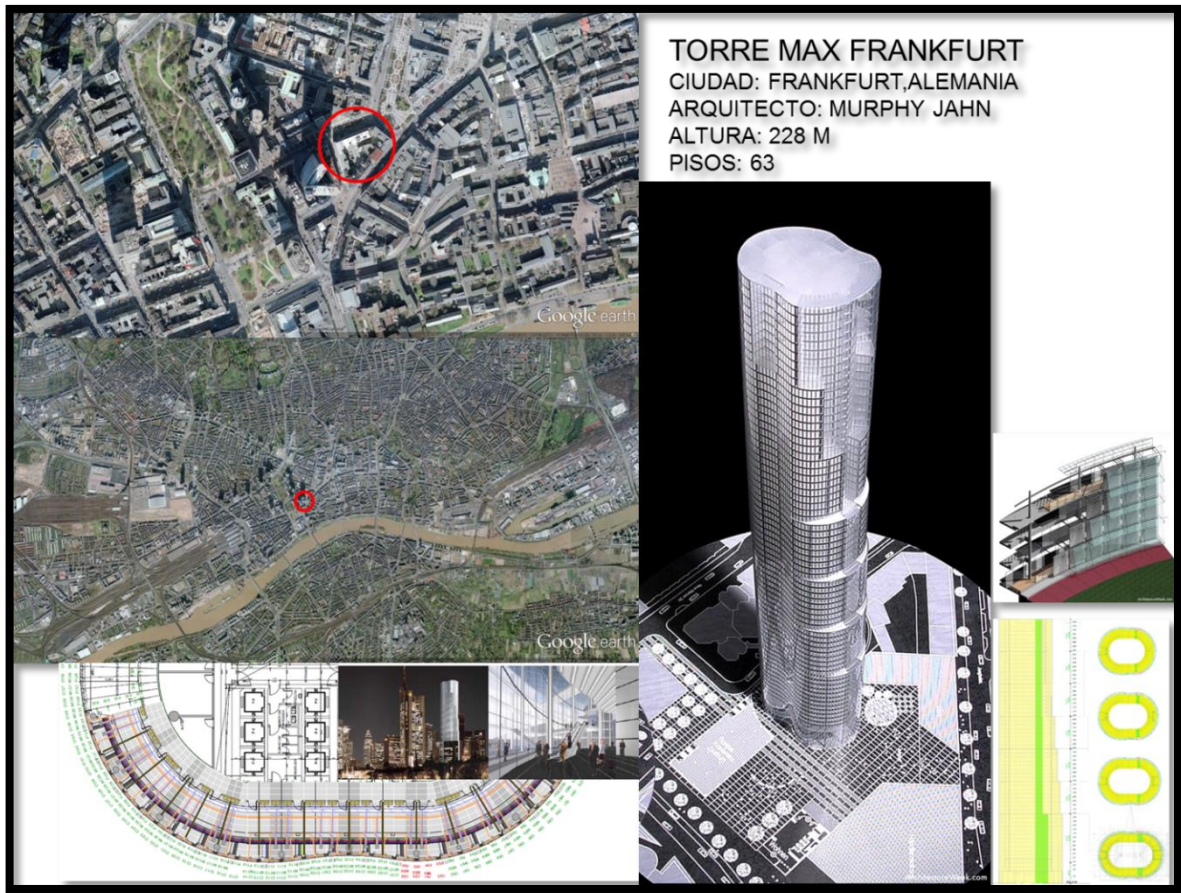
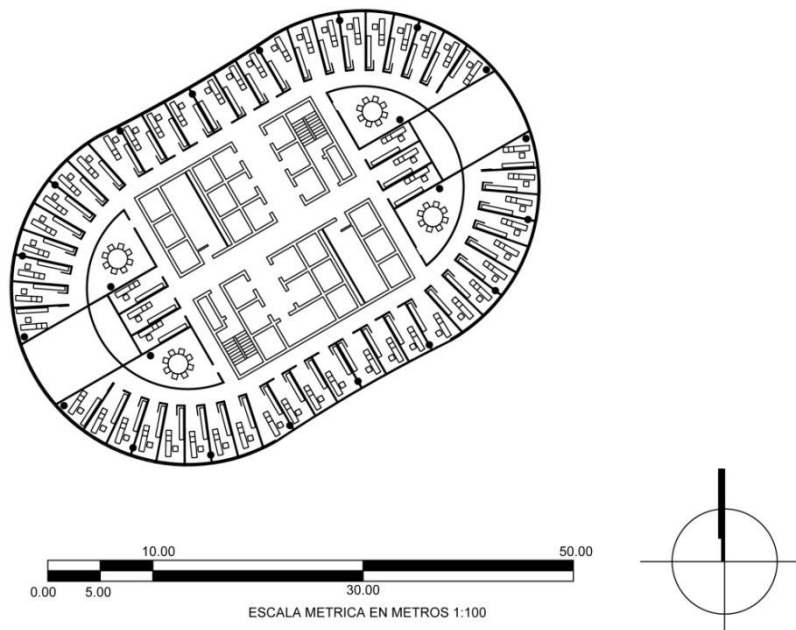


Figura IV.4. Rascacielos Torre Max Frankfurt.





## **Rascacielos Commerzbank**

La Torre Commerzbank (Commerzbank Tower) es un rascacielos ubicado en la ciudad de Fráncfort, Alemania. Fue diseñada por Foster and Partners y construida entre 1994 y 1996 por la constructora Hochtief. Actualmente se sitúa en la segunda posición de los rascacielos de Europa, superada solamente por el Palacio del Triunfo en Moscú. Es, además, el segundo edificio más alto de la Unión Europea tras haber sido superado por el Shard London Bridge en julio de 2012.

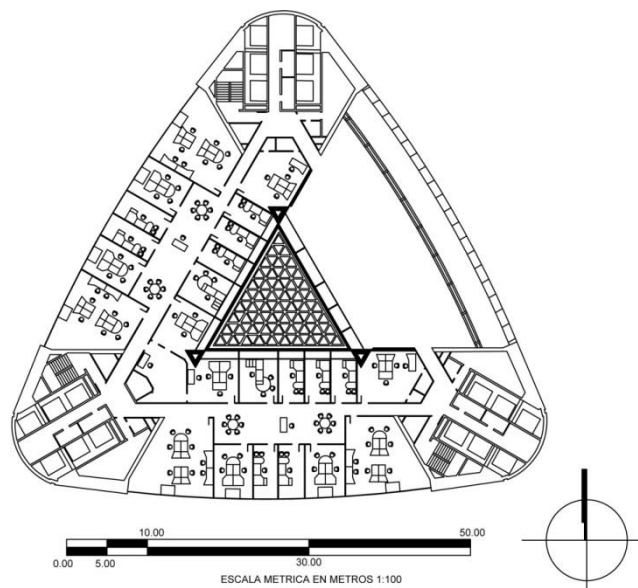
Con una altura de 259 metros y 65 plantas, el edificio cuenta con 121.000 metros cuadrados de superficie que albergan las oficinas de Commerzbank. La torre incluye un total de nueve jardines a diferentes alturas y un ingenioso sistema de luz natural en todas las oficinas, que se introduce por el atrio central del edificio. Fue diseñado por Norman Foster y sus socios.

La construcción del edificio fue iniciada en 1994 y se necesitaron solamente tres años para su finalización. En su construcción se emplearon más de 18.000 toneladas de acero y en los momentos de mayor actividad llegaron a trabajar más de ochocientas personas simultáneamente.





Figura IV.5. Rascacielos Commerzbank.



## **Rascacielos Torre Mayor**

La Torre Mayor es un rascacielos ubicado en la Ciudad de México, desarrollado por el canadiense Paul Reichmann. Se encuentra ubicada en el número 505 de la avenida Paseo de la Reforma, en el espacio ocupado anteriormente por el cine Chapultepec y cerca del Bosque de Chapultepec, en la delegación Cuauhtémoc.

La torre tiene una altura de 225 metros y 59 pisos, además de cuatro niveles de estacionamiento subterráneo y nueve sobre el nivel de la calle, con más de dos mil espacios de autoservicio disponibles. El edificio está equipado con veintinueve elevadores (ascensores) y 84.135 m<sup>2</sup> de espacio para oficinas, dos escaleras de emergencia presurizadas, unidades automáticas manejadoras de aire acondicionado y sistemas mecánicos, eléctricos y de telecomunicaciones en cada piso. Cada planta de piso cuenta con una superficie promedio de entre 1,700 y 1,825 metros cuadrados, libres de columnas y con una altura libre de cada piso de 2.70 metros.

La construcción, a cargo de Reichmann International, se inició en 1999 y fue concluida a finales de 2003, superando en México a la Torre Pemex y en Latinoamérica a las Torres del Parque Central en Caracas, Venezuela.

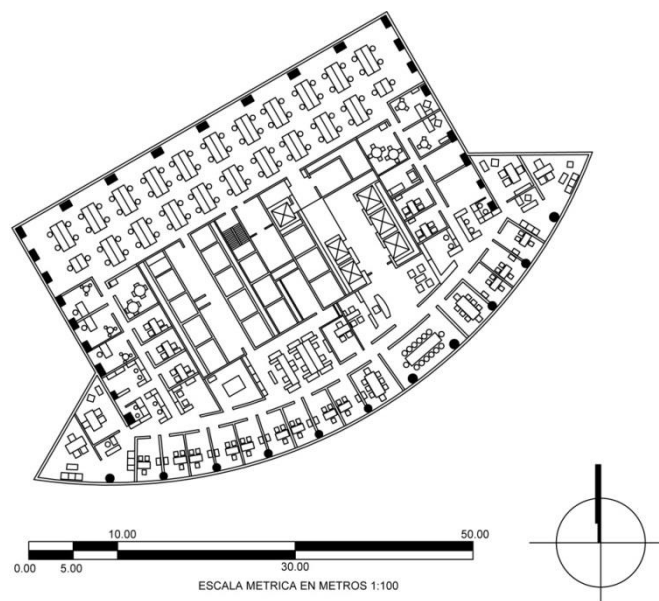
La Torre Mayor es considerada junto con la US Bank Tower, la Torre Pemex, la Torre Latinoamericana y la Gran Torre Santiago, uno de los rascacielos más resistentes del mundo y el de más tolerancia sísmica a nivel mundial, ya que tiene un máximo de tolerancia de 9.0 en la escala de Richter, además de ser una de las tres estructuras –como es también el caso del Taipéi 101- que está en una zona de alto riesgo sísmico. Se considera también la torre más sólida y resistente del planeta por sus aditamentos e implementos antisísmicos.







Figura IV.6. Rascacielos Torre Mayor.



## **Rascacielos Nacional Commercial Bank**

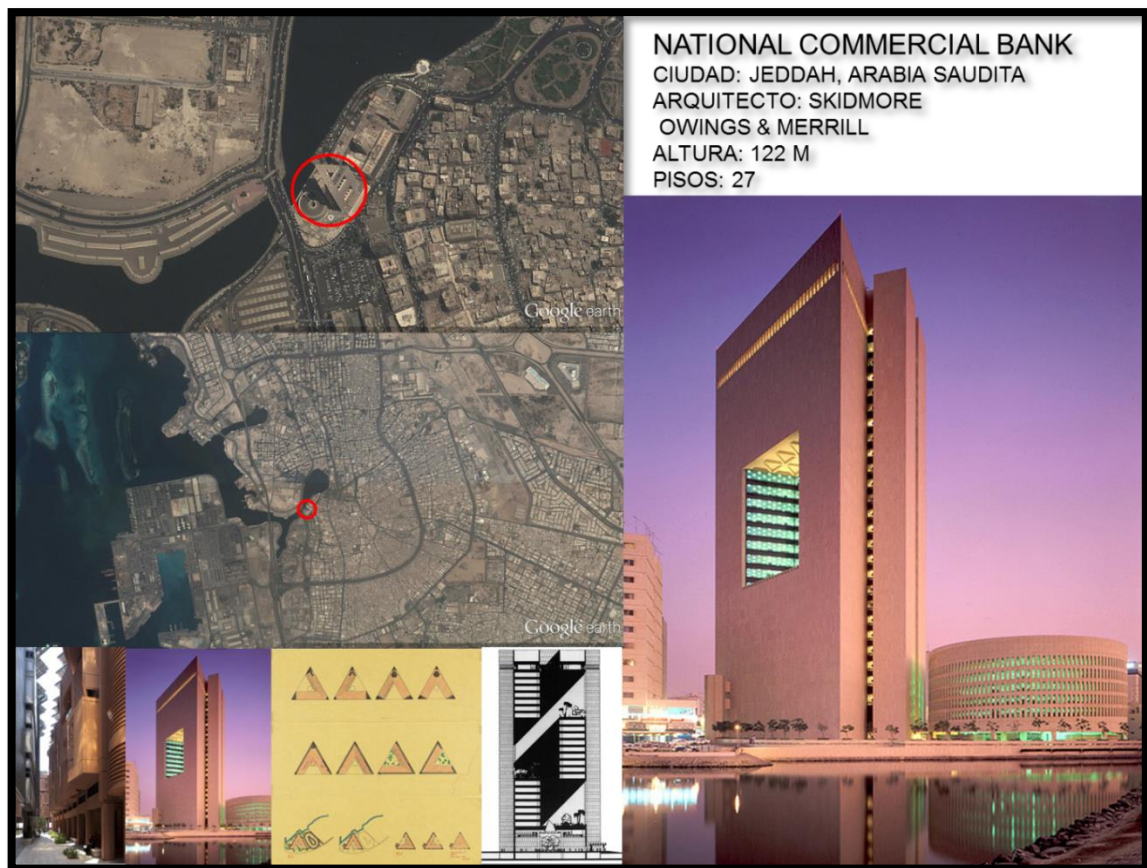
Esta estructura de gran altura fue diseñada para agrupar varias actividades bancarias que fueron difundidas con anterioridad entre cuatro edificios diferentes en Jeddah. El espacio interior utilizable pretendía llegar a unos 56.300 metros cuadrados y proporcionar a las oficinas la amplitud suficiente para dos mil empleados del banco, así como para albergar las funciones que mencionaré a continuación.

La torre triangular de veintisiete pisos está situada al lado de un parque de seis pisos de altura para coches de planta circular. Ascensores y servicios se agrupan en una torre rectangular separada, a un lado del triángulo equilátero y vinculado en su base con el estacionamiento. La planta triangular de la estructura principal se repite en todos los niveles de piso. Verticalmente, los niveles se dividen en intervalos de siete, nueve y siete plantas, cada una de ellas con espacio para oficinas en dos lados y una pared de cristal que mira hacia dentro en una galería abierta. Esta logia, o jardín en el aire, permite que las paredes acristaladas estén bien sombreadas y ofrece vistas a la ciudad.

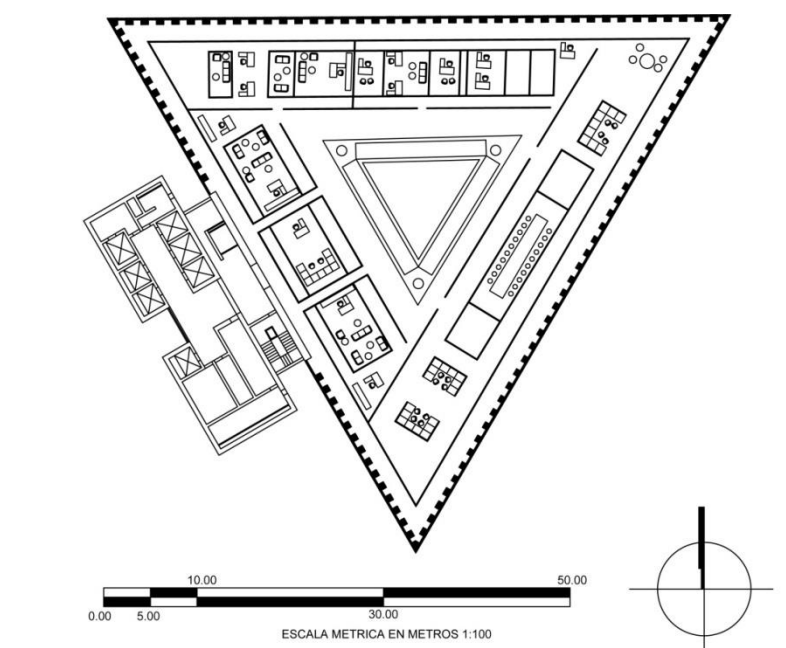
Un corte triangular se extiende verticalmente a través del edificio y proporciona la ventilación y el alivio de la acumulación de calor. Los patios apilados, combinados con la sala sin ventanas exteriores pero con luz solar directa, permiten que haya luz natural difusa en el edificio. La torre está coronada por la planta ejecutiva que se extiende sobre todo el área del triángulo.

Externamente, se expresa como una galería de blindaje de una pared acristalada situada detrás de él. El patio de operaciones a nivel de la plaza principal también se extiende sobre el triángulo completo, tiene un altillo apoyado en tres columnas y está cubierto por una claraboya cónica.





**Figura IV.7. Rascacielos National Commercial Bank.**



## **Rascacielos Shard London Bridge**

El Shard London Bridge, anteriormente conocido como London Bridge Tower, y también conocido como Shard of Glass, 32 London Bridge y The Shard, es un rascacielos construido en el distrito de Southwark en Londres, Reino Unido.

Es el rascacielos más alto de la Unión Europea y fue el más alto Europa hasta noviembre de 2012, cuando se completó la estructura de la Torre Ciudad Mercurio en Moscú, que mide 339 metros de altura. Está ubicado en el mismo lugar en el que se encontraban los edificios Southwark Towers, que fueron demolidos en 2006.

La torre tiene trescientos diez metros de altura y setenta y dos pisos, además de quince plantas radiador adicional en el techo. El edificio ha sido diseñado con una forma triangular irregular desde la base hasta la parte superior. Ha sido totalmente revestido de vidrio.

La estructura fue completada en abril 2012 y abrió sus puertas al público el 5 de julio de 2012. El edificio es propiedad del Estado de Qatar, que desembolsó el 95% de los 450 millones de libras que costó la construcción; su promoción está en manos de Sellar Property Group, Ltd. y los agentes contratados para la comercialización son Jones Lang LaSalle y Knight Frank.





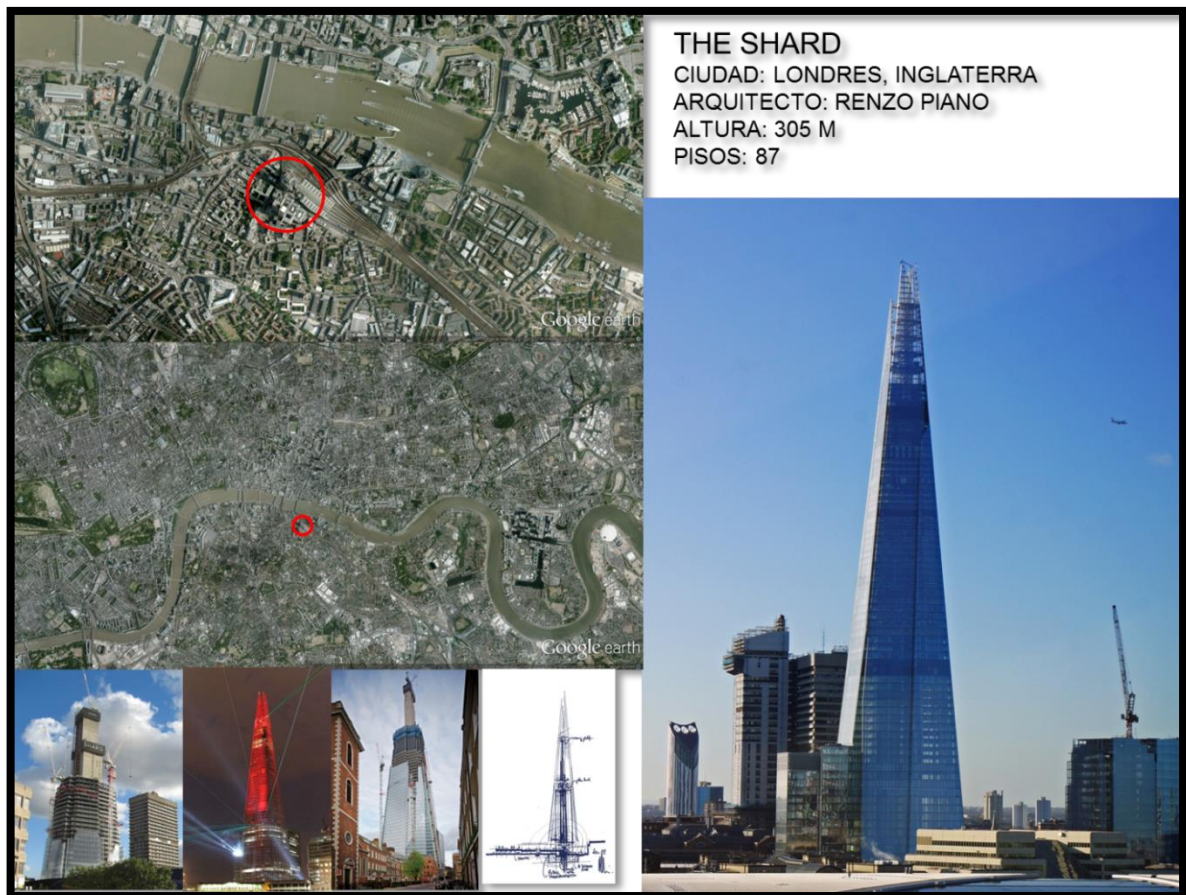
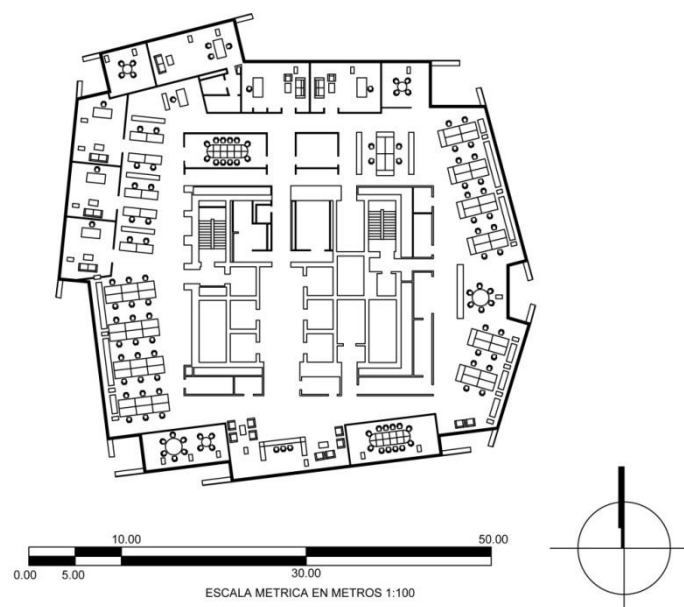


Figura IV.8. Rascacielos London Brige Tower.



## Rascacielos Central Plaza

Central Plaza es un rascacielos de 374 metros y 78 plantas, terminado en agosto de 1995 en la 18 Harbour Road, Wan Chai, en la isla de Hong Kong. Es la tercera torre más alta de la ciudad después del 2IFC en avenida América Central y la Corte Penal Internacional en West Kowloon.

Fue el edificio más alto de Asia desde 1992 hasta 1996, cuando fue construido el Shun Hing Square en la vecina ciudad de Shenzhen. Plaza Central superó la Torre del Banco de China como el edificio más alto de Hong Kong hasta la finalización de 2IFC. Plaza Central fue también el edificio de hormigón armado más alto del mundo, hasta que fue superado por CITIC Plaza, Guangzhou. El edificio utiliza un plano de planta triangular.

Central Plaza se compone de dos elementos principales: una torre de oficinas de 368 metros de altura y un podio de treinta metros y medio de altura conectado a ella. La torre está formada por tres secciones: una base de treinta metros y medio de altura que contiene la entrada principal y los espacios públicos de circulación; un cuerpo principal de 235,4 metros de altura que contiene cincuenta y siete plantas de oficinas, un sky lobby y cinco plantas técnicas; y la coronación, que consiste en seis plantas técnicas y una aguja de ciento dos metros de altura.

La zona pública en la planta baja, junto con la zona de asientos, forman un jardín de 8.400 m<sup>2</sup> con una fuente, árboles y suelo de piedra artificial. El podio no contiene comercios. La primera planta es una vía pública con tres puentes peatonales que conectan el Metro, el Centro de Convenciones y Exhibiciones, y el China Resource Building. Al convertir estos espacios en uso público, el edificio consiguió un 20% más de edificabilidad como bonus. La forma de la torre no es totalmente triangular ya que sus tres esquinas están cortadas para proporcionar un mejor espacio para las oficinas.



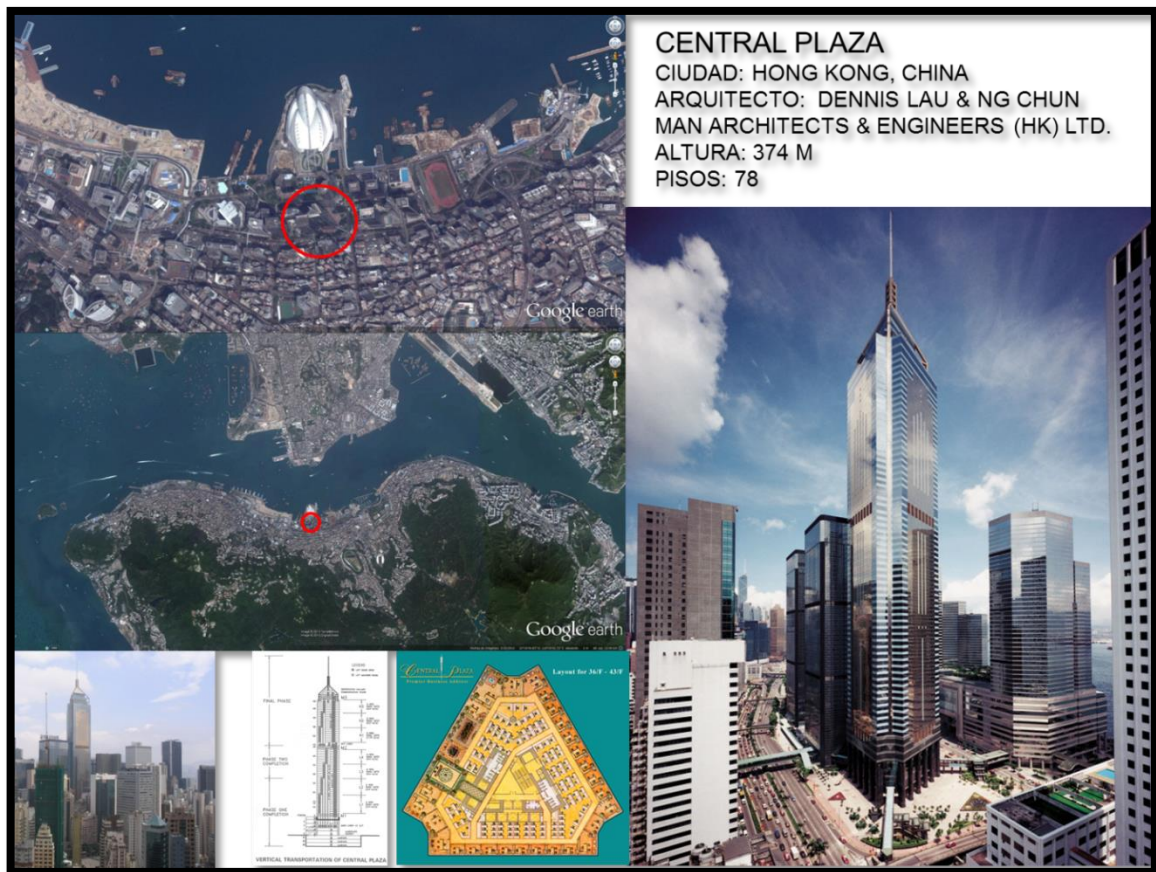
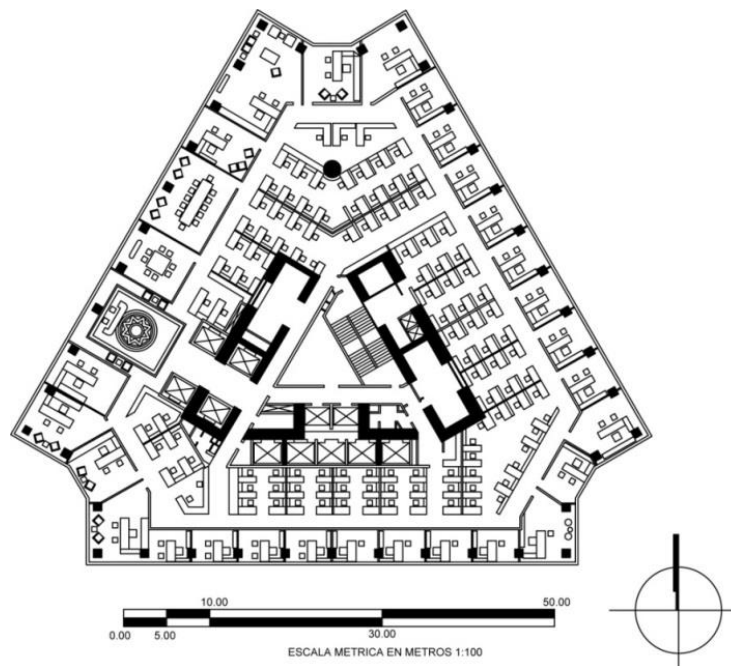


Figura IV.9. Rascacielos Central Plaza.



## **Rascacielos Torre Titanium**

La Torre Titanium La Portada es un rascacielos emplazado en el límite entre las comunas de Vitacura, Providencia y Las Condes, en Santiago de Chile y está ubicado en la avenida Andrés Bello, en el sector de Isidora Goyenechea. Su construcción comenzó en 2006 y llegó a su fin en enero de 2010, siendo inaugurado el 3 de mayo de 2010. Actualmente es el segundo rascacielos más alto de Chile.

El arquitecto del edificio es Abraham Senerman, que lo ideó junto a un equipo de profesionales encabezados por el arquitecto Andrés Weil y Senarq, oficina de arquitectura.

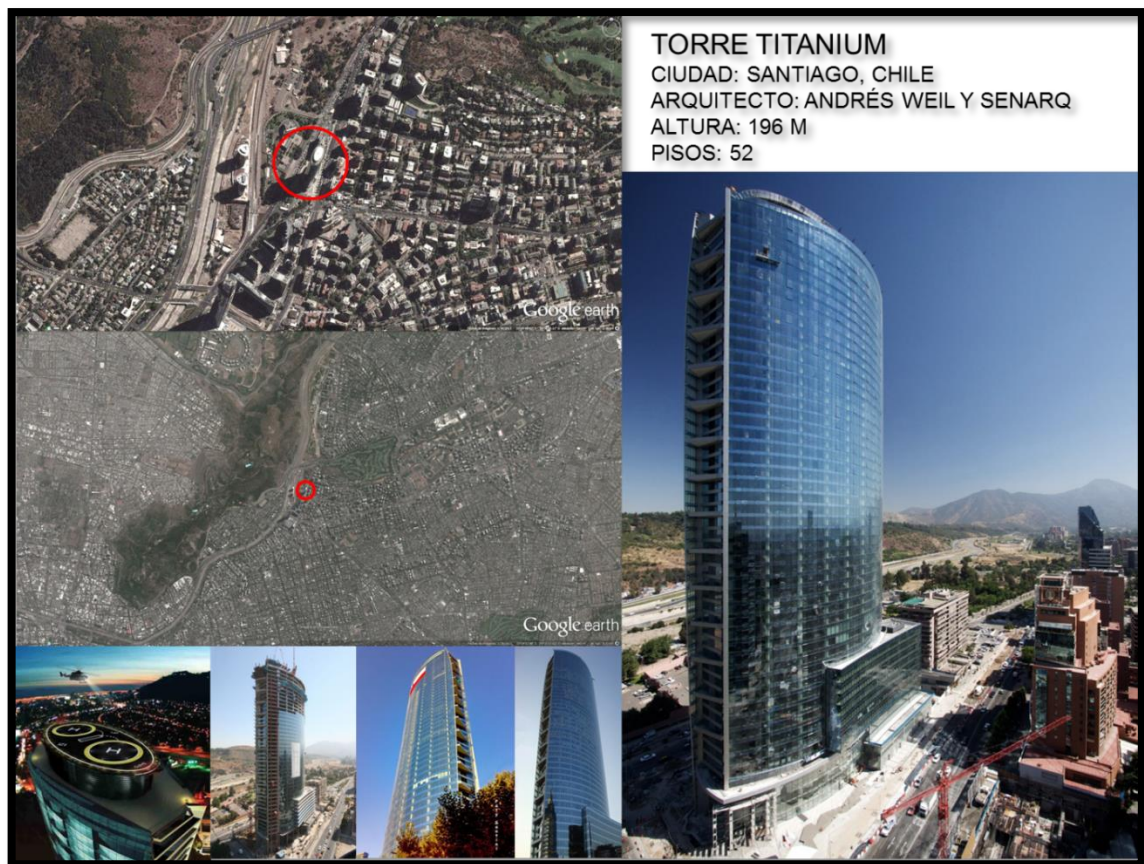
Titanium La Portada mantuvo el título del edificio más alto de Chile hasta que fue superada por la construcción de la Gran Torre Santiago del complejo comercial Costanera Center, a fines de 2010, pero sigue siendo uno de los edificios más altos de Sudamérica. Su altura alcanza los 194,03 metros hasta su azotea, con un helipuerto con capacidad para dos helicópteros; tiene cincuenta y cinco pisos y sesenta y dos niveles hasta su helipuerto. Cuenta con un gran hall de acceso de catorce metros de altura y mil metros cuadrados de superficie.

El edificio está equipado con veinticinco ascensores de alta velocidad que se mueven hasta siete metros por segundo (25 km/h). Dos son presurizados para poder ser usados en caso de emergencia.

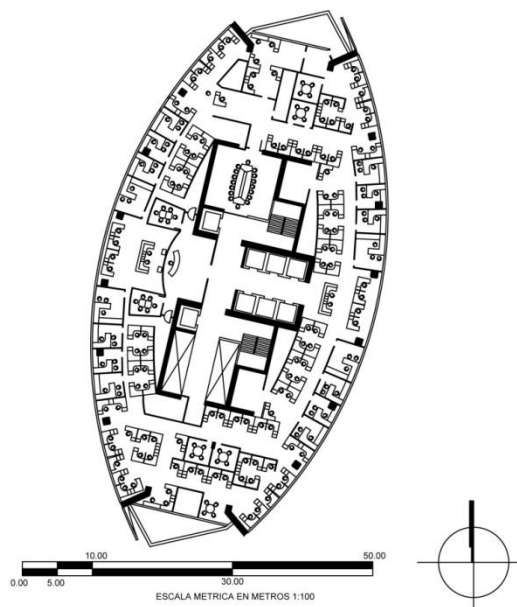
El área total para oficinas es de setenta y dos mil metros cuadrados. El 70% del terreno está destinado a áreas de uso público y esparcimiento. Cuenta con sistemas tecnológicos tendientes al uso eficiente de los recursos.







**Figura IV.10. Rascacielos Titanium.**



## **Rascacielos Torre GAP 15**

El GAP 15 es un moderno edificio de oficinas en Düsseldorf, distrito centro. Debe su nombre a su dirección en la calle.

Situado en el antiguo emplazamiento del complejo edificio de Correos, se compone de un rascacielos de noventa metros con veinticuatro pisos y un estacionamiento de cinco pisos. Ambos edificios están conectados por un puente y un techo de cristal. El diseño es de la oficina de Düsseldorf JSK Arquitectos.

La planta de la torre tiene la forma de dos elipses entrelazadas y está completamente cubierta con elementos de pisos de altura de vidrio.

La parte de baja altura, sin embargo, responde a la antigua oficina de correos y está inspirada en la fachada norte. La superficie de suelo es de aproximadamente 42.200 m<sup>2</sup>, de los cuales aproximadamente ochocientos treinta metros cuadrados están destinados a espacio comercial.



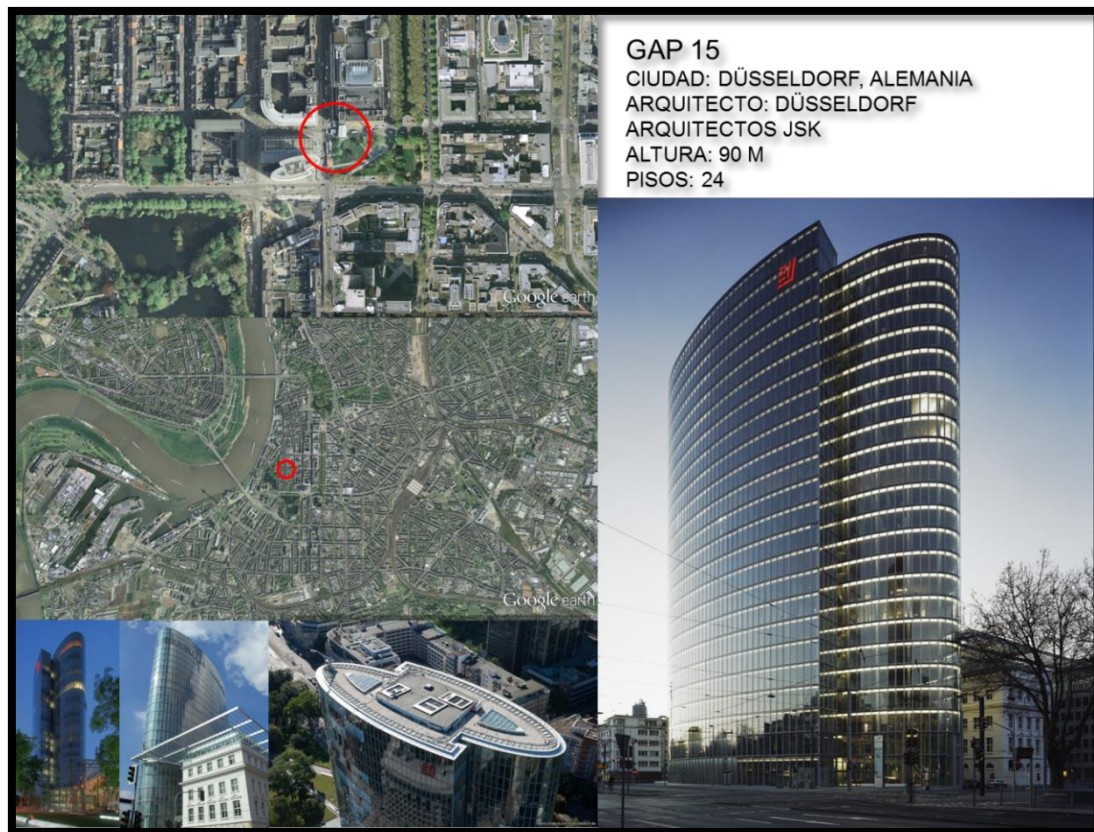
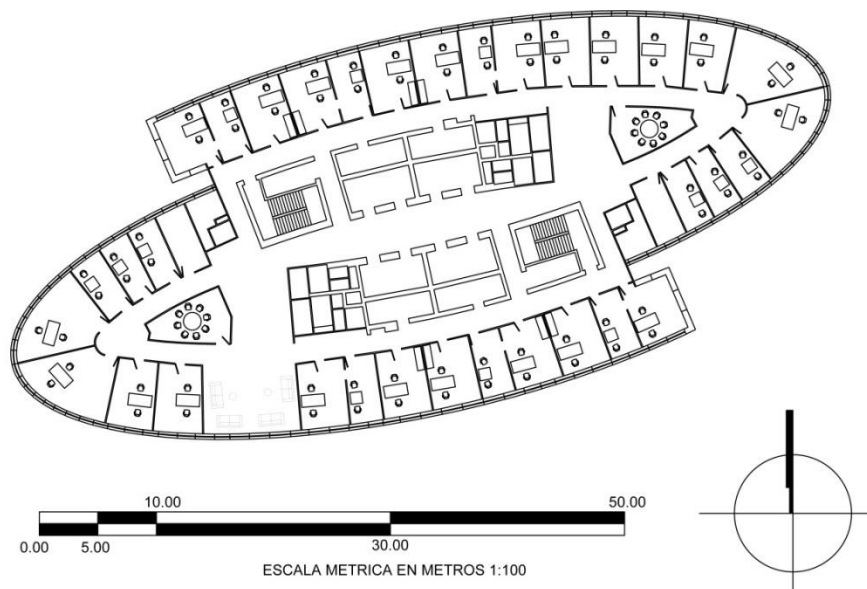


Figura IV.11. Rascacielos GAP 15.



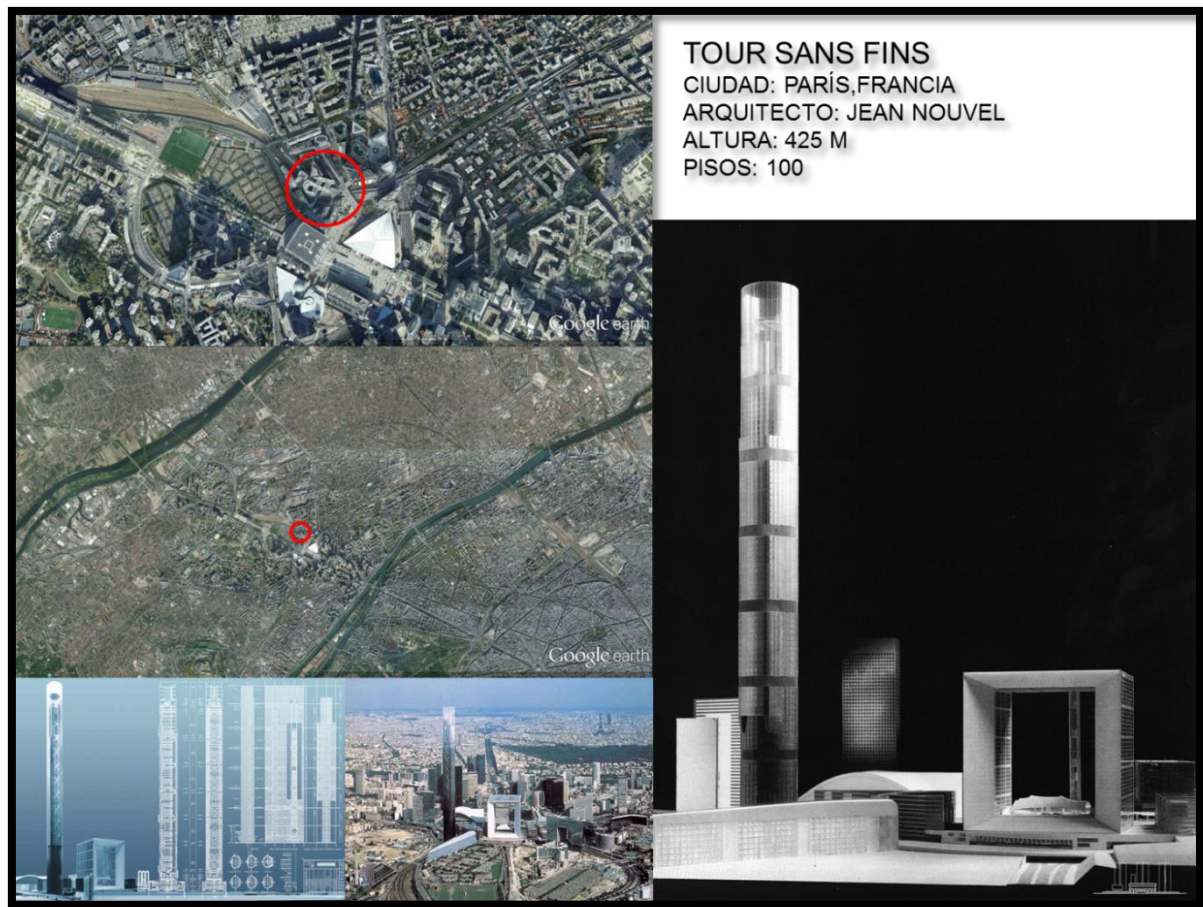


## Rascacielos Sans Fins Tour

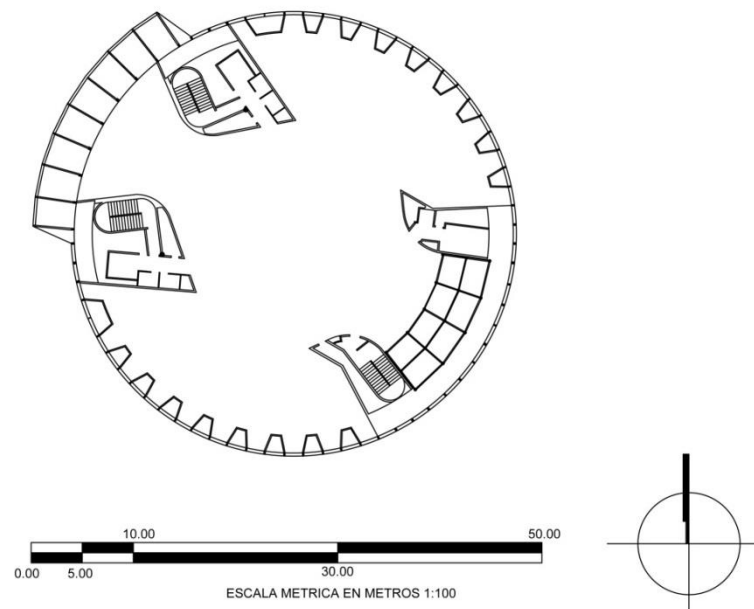
El rascacielos Sans Fins Tour era una torre que se tenía previsto construir en La Défense, pero cuya edificación ha sido cancelada. La historia del Tour Sans Fins está ligada a los primeros proyectos de La Défense, como la Grande Arche, como testimonio de la construcción no finalizada en La Défense, el diseño ganador fue seleccionado junto a un estacionamiento al aire libre del RER. El ganador de este concurso fue Jean Nouvel y su Sans Fins estaba destinado a alcanzar los 425 metros de altura, lo que lo habría convertido en el rascacielos más alto de Europa. Diversas razones técnicas, además de la crisis económica de la década de 1990, dieron lugar a que el proyecto se cancelara a pesar de los veinte millones de francos franceses que ya se habían invertido.

La torre tenía un diseño muy original, con la forma de un cilindro. La base de la torre iba a ser muy oscura, y se haría cada vez más clara conforme se aproximara al cielo, dando así la sensación de una torre que está desapareciendo. En la base de la torre se habrían construido varios niveles por debajo de la tierra, a modo de cráter, y habría acabado con un amortiguador de masa sintonizado para absorber las vibraciones de su parte superior. Los ascensores se iban a encontrar en los lados, lo que iba a permitir vistas panorámicas durante el ascenso, y .que las oficinas ocupasen el centro.





**Figura IV.12. Rascacielos Tour Sans Fins.**



## Área Usable

Como se ha explicado al comienzo de este capítulo, el término Área Usable, se entiende como una cualidad de los espacios por la que cualquier parte de su superficie total está relacionada con el propósito de su uso, esto es, relacionadas por una circulación que conecta todos los locales establecidos en la planta arquitectónica.

El área usable es entendida aquí como el área resultante de una planta arquitectónica, una vez deducido el área de circulación y el área de servicios. Esto se mide en conjunto para obtener el área usable final.

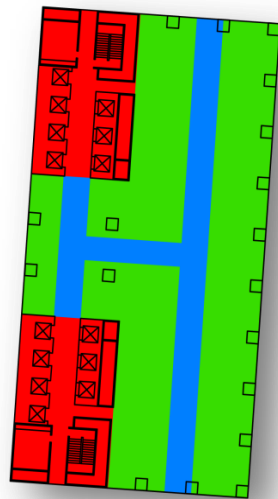
Todo entorno se estructura con circulaciones, servicios y áreas amueblables. En términos generales hablamos de entidades y relaciones.

Una entidad se constituye por áreas definidas y amuebladas en torno a una serie de acciones previstas. Una relación se constituye por pasillos o circulaciones que sirven para relacionar dos o más entidades entre sí.

A continuación se presenta el análisis de Área Usable de los casos de estudio anteriores; se presenta de forma gráfica, con la respectiva identificación de color, acorde a cada una de las entidades que conforman este concepto.

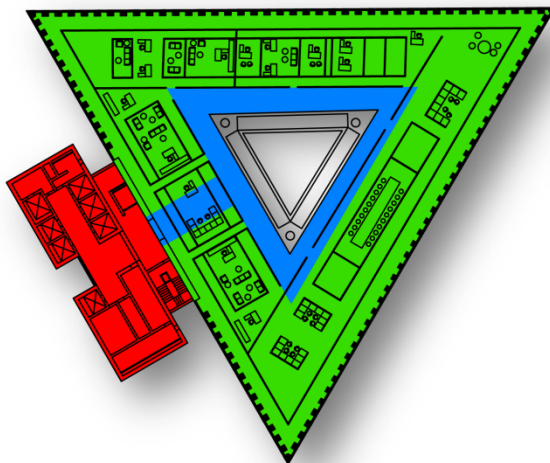
Las circulaciones de color azul que son las encargadas de conectar cada espacio, los servicios en rojo y el área usable en color verde, que se entiende como el espacio utilizado para las oficinas y que a la vez conforman el total del área de trabajo identificado en un porcentaje de eficiencia de la planta arquitectónica.

## Casos de estudio y aplicación del análisis de Área Usable



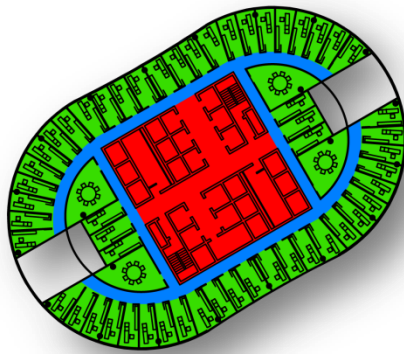
UMEDA SKY BUILDING  
**ÁREA TOTAL 1835 M2**  
**SERVICIOS 302 M2**  
**CIRCULACIONES 531 M2**  
**ÁREA USABLE 1002 M2**  
**ÁREA USABLE 55 %**

Figura IV.13. Análisis área usable rascacielos Umeda Sky Building.



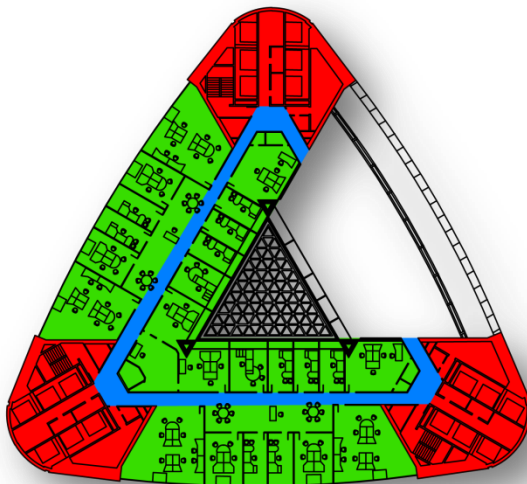
NATIONAL COMMERCIAL BANK  
**ÁREA TOTAL 2067 M2**  
**SERVICIOS 335 M2**  
**CIRCULACIONES 288 M2**  
**ÁREA USABLE 1445 M2**  
**ÁREA USABLE 70 %**

Figura IV.14. Análisis área usable rascacielos National Commercial Bank.



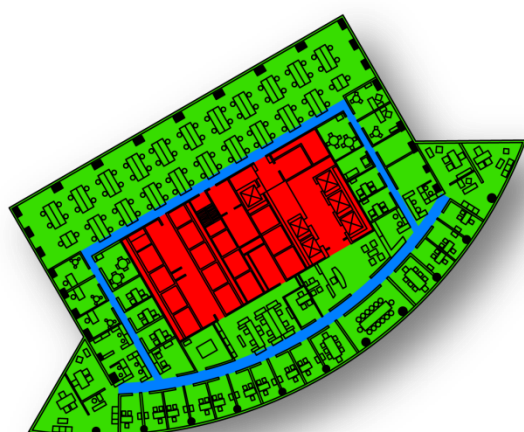
TORRE MAX FRANKFURT  
**ÁREA TOTAL 1381 M2**  
**SERVICIOS 385 M2**  
**CIRCULACIONES 193 M2**  
**ÁREA USABLE 802 M2**  
**ÁREA USABLE 58 %**

Figura IV.15. Análisis área usable rascacielos Torre Frankfurt.



COMMERZBANK  
**ÁREA TOTAL 1947 M2**  
**SERVICIOS 665 M2**  
**CIRCULACIONES 179 M2**  
**ÁREA USABLE 1103 M2**  
**ÁREA USABLE 57 %**

Figura IV.16. Análisis área usable rascacielos Commerzbank.

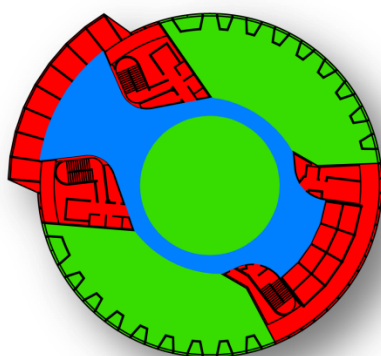


TORRE MAYOR  
**ÁREA TOTAL 1971 M2**

**SERVICIOS 430 M2**  
**CIRCULACIONES 148 M2**  
**ÁREA USABLE 1392 M2**

**ÁREA USABLE 71 %**

Figura IV.17. Análisis área usable rascacielos Torre Mayor.

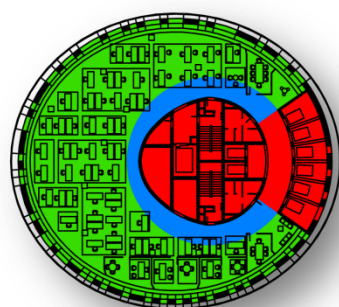


TOUR SANS FIN  
**ÁREA TOTAL 1586 M2**

**SERVICIOS 482 M2**  
**CIRCULACIONES 295 M2**  
**ÁREA USABLE 810 M2**

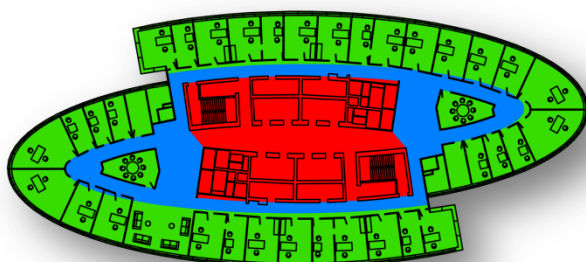
**ÁREA USABLE 51 %**

Figura IV.18. Análisis área usable rascacielos Tour Sans Fins.



TORRE AGBAR  
**ÁREA TOTAL 1126 M2**  
**SERVICIOS 321 M2**  
**CIRCULACIONES 117 M2**  
**ÁREA USABLE 688 M2**  
**ÁREA USABLE 61%**

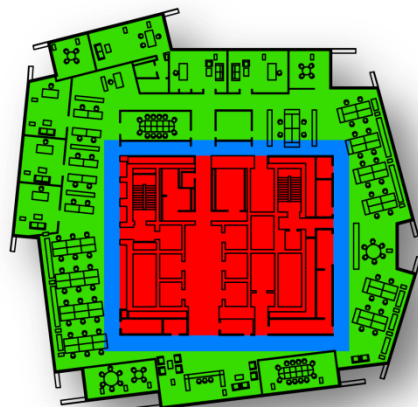
Figura IV.19. Análisis área usable rascacielos Torre Agbar.



TORRE GAP 15  
**ÁREA TOTAL 1725 M2**  
**SERVICIOS 409 M2**  
**CIRCULACIONES 303 M2**  
**ÁREA USABLE 1013 M2**  
**ÁREA USABLE 59 %**

Figura IV.20. Análisis área usable rascacielos Torre GAP 15.



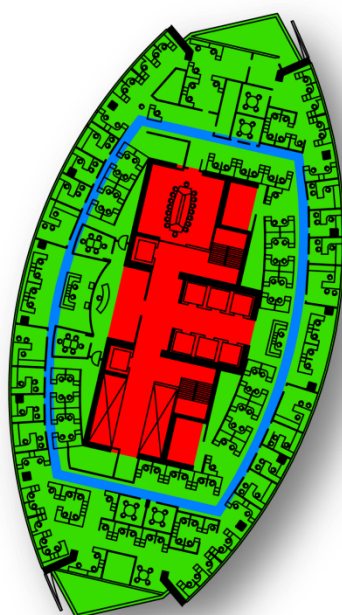


LONDON BRIDGE TOWER  
**ÁREA TOTAL 1945 M2**

**SERVICIOS 482 M2**  
**CIRCULACIONES 344 M2**  
**ÁREA USABLE 1118 M2**

**ÁREA USABLE 57 %**

Figura IV.21. Análisis área usable rascacielos London Bridge Tower.



TORRE TITANIUM  
**ÁREA TOTAL 2411 M2**

**SERVICIOS 578 M2**  
**CIRCULACIONES 163 M2**  
**ÁREA USABLE 1670 M2**

**ÁREA USABLE 69 %**

Figura IV.22. Análisis área usable rascacielos Torre Titanium.

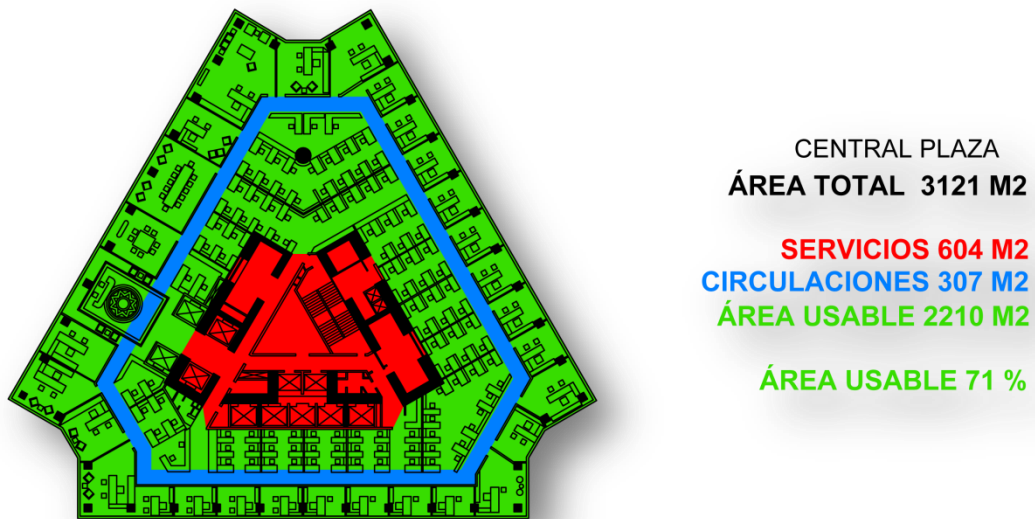


Figura IV.23. Análisis área usable rascacielos Central Plaza.

Con base en el análisis previo de Área Usable de los diferentes casos de estudio, se obtienen los mejores casos y los peores, según el porcentaje mayor o menor de cada una de las plantas arquitectónicas.

## Mejores casos de estudio

### Caso 1. Torre Mayor.

Los mejores casos se determinan según el mayor porcentaje de área usable, determinada por el área de oficinas que, en el caso de la Torre Mayor, presenta 1392 m<sup>2</sup> y un porcentaje de 71. En cuanto a las circulaciones, presenta 148 m<sup>2</sup> y en cuanto a servicios presenta 430 m<sup>2</sup>, con lo cual el área total es 1972 m<sup>2</sup>.

La planta arquitectónica muestra una distribución centralizada al ubicar los servicios como un núcleo central, lo que propicia que las circulaciones tengan una distribución en anillo, con lo que se logra relacionar el área de oficinas.

TORRE MAYOR			
ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2
1970.8234	430.4685	148.2998	1391.8448
%	0.22	0.08	0.71

Tabla IV-1. Datos cuantificables del Área Usable Torre Mayor.

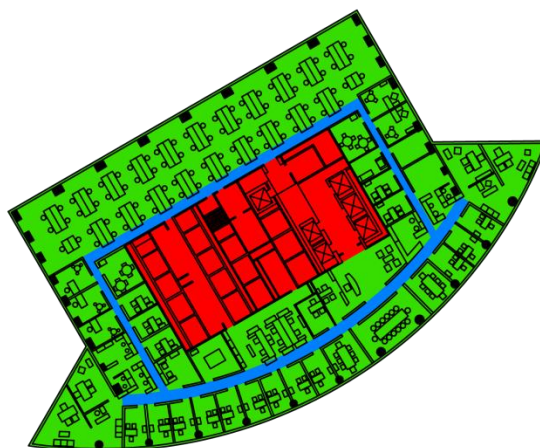


Figura IV.24. Análisis de Área Usable, Planta tipo Torre Mayor

**Caso 2. Central Plaza.**

En el caso de la Central Plaza, presenta 2209 m<sup>2</sup> y un porcentaje también de 71. En cuanto a las circulaciones, presenta 307 m<sup>2</sup> y en cuanto a servicios presenta 604 m<sup>2</sup>, con lo cual el área total es 1972 m<sup>2</sup>.

La planta arquitectónica muestra una distribución centralizada igual al caso anterior.

CENTRAL PLAZA			
ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2
3121.2191	603.6324	307.2407	2209.8059
%	0.19	0.10	0.71

Tabla IV-2. Datos cuantificables del Área Usable rascacielos Central Plaza.

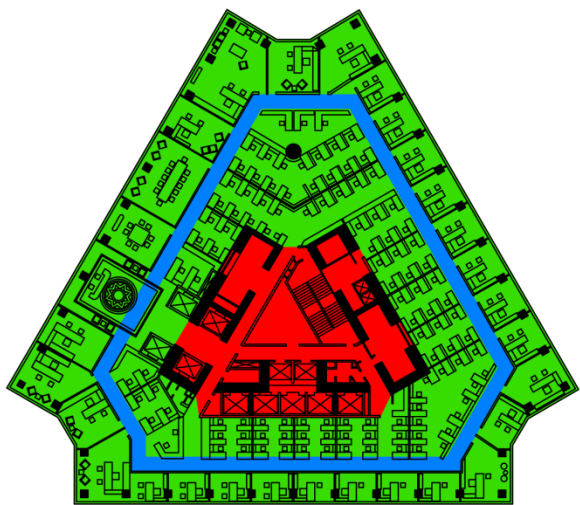


Figura IV.25. Análisis de Área Usable, Planta tipo Central Plaza.

## Tendencias de los mejores casos de estudio

La sobreposición de las plantas arquitectónicas de los mejores casos de estudio, muestra las tendencias mencionadas en el análisis individual. Al colocar una imagen sobre otra, se resaltan los colores de identificación del análisis de área usable. En la imagen se muestra que el área de servicios en color rojo se enfatiza con la centralización y el área de oficinas, al igual que las circulaciones, tiene la característica de distribución perimetral al núcleo.



Figura IV.26. Sobreposición de los mejores casos de estudio.

## Peores casos de estudio.

### Caso 1. Umeda Sky

Los peores casos se determinan según el mayor porcentaje de área n, determinada por el área de oficinas. En el caso de la Umeda Sky, presenta 1001 m<sup>2</sup> y un porcentaje de 55; en cuanto a las circulaciones presenta 530 m<sup>2</sup> y en cuanto a servicios presenta 302 m<sup>2</sup>, con lo cual el área total es 1835 m<sup>2</sup>.

La planta arquitectónica muestra una distribución descentralizada al ubicar los servicios de forma separada y perimetral, lo que propicia que las circulaciones tengan una distribución más alargada, con lo que se logra relacionar el área de oficinas.

UMEDA SKY BUILDING			
ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2
1835.088	302.4651	530.8896	1001.8413
%	0.16	0.29	0.55

Tabla IV-3. Datos cuantificables del Área Usable rascacielos Umeda Sky.

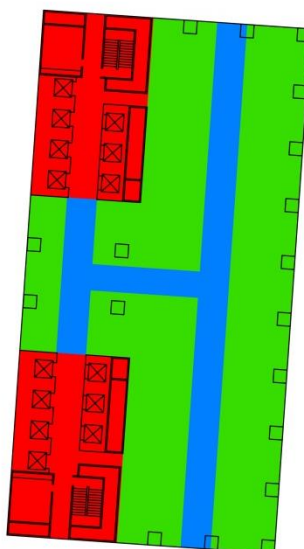


Figura IV.27. Análisis de Área Usable, Planta tipo Umeda Sky.





**Caso 2. Tour Sans Fins.**

En el caso de la Tour Sans Fins, presenta 809 m<sup>2</sup> y un porcentaje de 51; en cuanto a las circulaciones presenta 295 m<sup>2</sup> y en cuanto a servicios presenta 481 m<sup>2</sup>, con lo cual el área total es 1586 m<sup>2</sup>.

La planta arquitectónica muestra una distribución semejante al caso anterior.

TOUR SANS FINS			
ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2
1586.3986	481.6888	295.1023	809.5113
%	0.30	0.19	0.51

Tabla IV-4. Datos cuantificables del Área Usable rascacielos Tour Sans Fins.

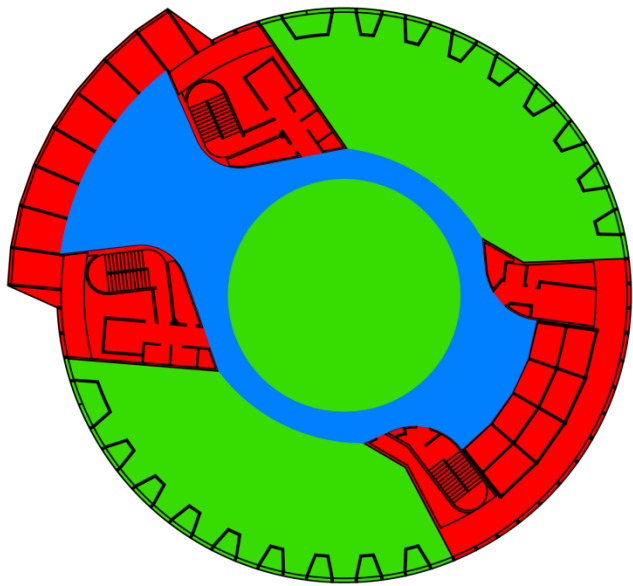


Figura IV.28. Análisis de Área Usable, Planta tipo Tour Sans Fins.

## Tendencias de los peores casos de estudio

La sobreposición de las plantas arquitectónicas de los peores casos de estudio, muestra las tendencias mencionadas en el análisis individual. Al colocar una imagen sobre otra, se resaltan los colores de identificación del análisis de área usable, en la imagen se muestra que el área de servicios en color rojo se enfatiza con la descentralización y el área de oficinas, al igual que las circulaciones, tiene la característica de distribución dispersa y exceso de circulaciones generando un desperdicio de área.



Figura IV.29. Sobreposición de los peores casos de estudio.

<b>1</b>	<b>UMEDASKY BUILDING</b>			
	<b>ÁREA TOTAL M2</b>	<b>SERVICIOS M2</b>	<b>CIRCULACIONES M2</b>	<b>ÁREA USABLE M2</b>
	1835.088	530.8896	302.4651	1001.8413
	%	0.29	0.16	0.55
				100%
<b>2</b>	<b>NATIONAL COMMERCIAL BANK</b>			
	<b>ÁREA TOTAL M2</b>	<b>SERVICIOS M2</b>	<b>CIRCULACIONES M2</b>	<b>ÁREA USABLE M2</b>
	2067.295	335.4738	287.629	1444.6174
	%	0.16	0.14	0.70
				100%
<b>3</b>	<b>TORRE MAX FRANKFURT</b>			
	<b>ÁREA TOTAL M2</b>	<b>SERVICIOS M2</b>	<b>CIRCULACIONES M2</b>	<b>ÁREA USABLE M2</b>
	1380.6328	385.2686	192.9728	802.2639
	%	0.28	0.14	0.58
				100%
<b>4</b>	<b>COMMERZBANK</b>			
	<b>ÁREA TOTAL M2</b>	<b>SERVICIOS M2</b>	<b>CIRCULACIONES M2</b>	<b>ÁREA USABLE M2</b>
	1947.1967	665.1912	179.1851	1102.8618
	%	0.34	0.09	0.57
				100%
<b>5</b>	<b>TORRE MAYOR</b>			
	<b>ÁREA TOTAL M2</b>	<b>SERVICIOS M2</b>	<b>CIRCULACIONES M2</b>	<b>ÁREA USABLE M2</b>
	1970.8234	430.4685	148.2998	1391.8448
	%	0.22	0.08	0.71
				100%
<b>6</b>	<b>TOUR SANS FINS</b>			
	<b>ÁREA TOTAL M2</b>	<b>SERVICIOS M2</b>	<b>CIRCULACIONES M2</b>	<b>ÁREA USABLE M2</b>
	1586.3986	481.6888	295.1023	809.5113
	%	0.30	0.19	0.51
				100%
<b>7</b>	<b>TORRE AGBAR</b>			
	<b>ÁREA TOTAL M2</b>	<b>SERVICIOS M2</b>	<b>CIRCULACIONES M2</b>	<b>ÁREA USABLE M2</b>
	1126.3414	321.4706	116.5049	688.3658
	%	0.29	0.10	0.61
				100%
<b>8</b>	<b>TORRE GAP 15</b>			
	<b>ÁREA TOTAL M2</b>	<b>SERVICIOS M2</b>	<b>CIRCULACIONES M2</b>	<b>ÁREA USABLE M2</b>
	1725.4939	409.3131	303.069	1013.1117
	%	0.24	0.18	0.59
				100%
<b>9</b>	<b>LONDON BRIGE TOWER</b>			
	<b>ÁREA TOTAL M2</b>	<b>SERVICIOS M2</b>	<b>CIRCULACIONES M2</b>	<b>ÁREA USABLE M2</b>
	1944.7981	481.6888	344.4175	1118.0104
	%	0.25	0.18	0.57
				100%
<b>10</b>	<b>CENTRAL PLAZA</b>			
	<b>ÁREA TOTAL M2</b>	<b>SERVICIOS M2</b>	<b>CIRCULACIONES M2</b>	<b>ÁREA USABLE M2</b>
	3121.2191	603.6324	307.2407	2209.8059
	%	0.19	0.10	0.71
				100%
<b>11</b>	<b>TORRE TITANIUM</b>			
	<b>ÁREA TOTAL M2</b>	<b>SERVICIOS M2</b>	<b>CIRCULACIONES M2</b>	<b>ÁREA USABLE M2</b>
	2411.3209	578.2395	162.9692	1669.868
	%	0.24	0.07	0.69

Tabla IV-5. Datos cuantificables de Área Usable de los casos de estudio.



## Amueblabilidad

La Amueblabilidad se entiende como la cualidad de un proyecto de proponer las áreas **Individual Permanente**<sup>29</sup> (oficina), **Temporalmente Compartido**<sup>30</sup> (sala de juntas) y **Permanente Compartido**<sup>31</sup> (cubículos), en forma, tamaño y posición eficiente, de tal forma que se establezca el análisis de la planta arquitectónica en relación a su conformación por medio de las entidades de trabajo. La Amueblabilidad es, por tanto, la cualidad que cada espacio ofrece a su usuario para dar cabida a diversas series y la superposición de artefactos y objetos incrustados en la práctica de la vida laboral para que siga con el propósito particular de cada empresa.

**Individual Permanente** (oficina), su característica principal es la de proveer de un espacio permanente, donde permanece la persona encargada de conducir la empresa y de establecer las actividades de las personas.

**Temporalmente Compartido** (sala de juntas), su característica principal es la de proveer de un espacio temporal donde convergen las personas para actividades importantes dentro de la empresa de forma conjunta.

**Permanente Compartido** (cubículos), su característica principal es la de proveer de un espacio permanente y compartido, donde permanecen las personas, para actividades importantes dentro de la empresa de forma conjunta.

Las entidades que conforman las plantas arquitectónicas de cada uno de los casos de estudio son a continuación analizadas de forma cualitativa y cuantitativa, para poder determinar sus características generales de Amueblabilidad.

---

<sup>29</sup> Es la oficina principal, su característica es la de proveer de un espacio permanente.

<sup>30</sup> Es la sala de juntas, su característica principal es la de proveer de un espacio temporal donde convergen las personas.

<sup>31</sup> Son los cubículos, su característica principal es la de proveer de un espacio permanente de trabajo para los trabajadores.

En la siguiente planta arquitectónica del rascacielos Torre Mayor, se ejemplifica cada una de las entidades que conforman su distribución interna en términos de Amueblabilidad.

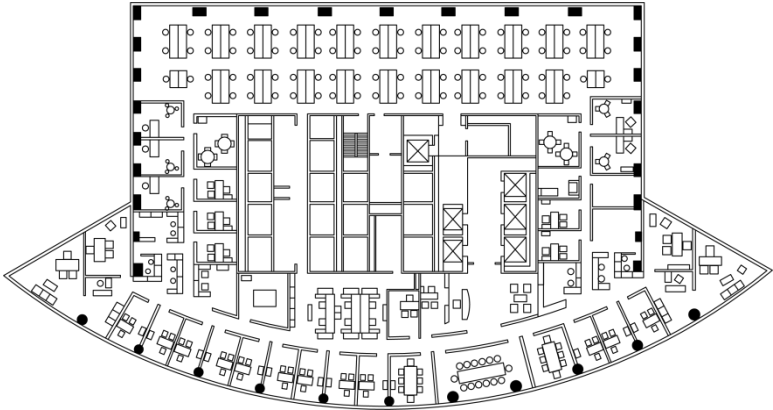


Figura IV.30. Planta tipo Torre Mayor.

Estos espacios o entidades son los que estructuran y definen la planta arquitectónica del caso de estudio. La variación entre los espacios es notable, ya que encontramos espacios de mayor y menor dimensión.

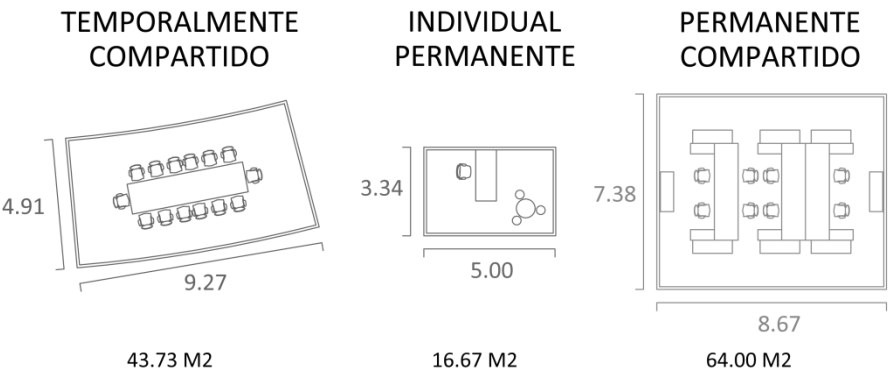
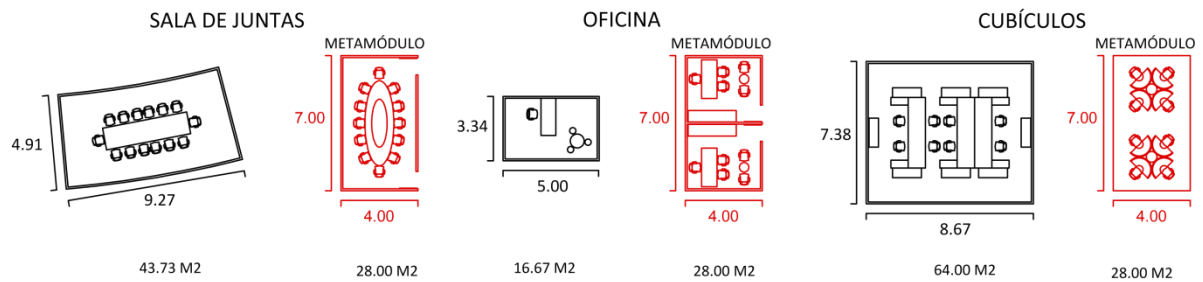


Figura IV.31. Entidades definidas en la planta tipo del rascacielos Torre Mayor.



La metodología contemplada dentro del concepto de Amueblabilidad, propone que estas áreas se replanteen dentro de una entidad nueva que llamaremos, **Metamódulo**, el cual se define como una entidad que se establece para unificar las tres entidades que conforman la planta arquitectónica, para lograr obtener una entidad única que propicie la eficiencia espacial del proyecto.

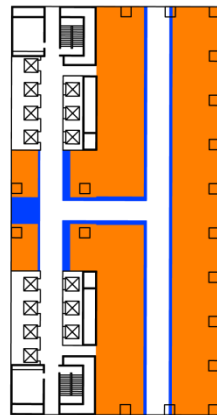


**Figura IV.32. Unificación de las entidades con el Metamódulo.**

Con el Metamódulo establecido, se distribuye la planta arquitectónica según la orientación actual del caso de estudio para poder obtener de forma cuantitativa y cualitativa las tendencias según el parámetro de Amueblabilidad.



## Casos de estudio y aplicación del análisis de Amueblabilidad



UMEDA SKY BUILDING

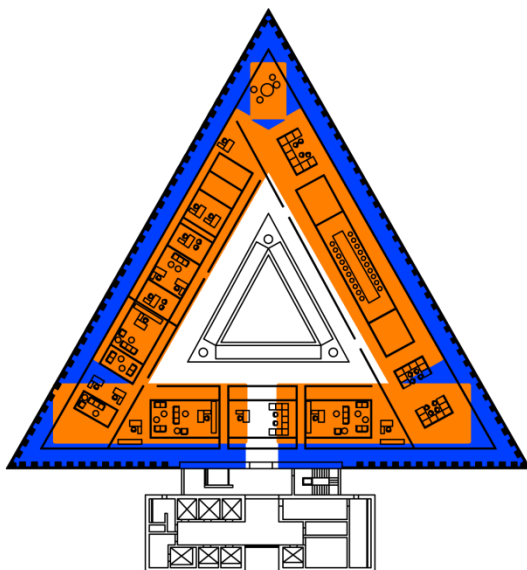
ÁREA TOTAL 1835 M2

ÁREA USABLE 1002 M2

ÁREA NO AMUEBLABLE 78 M2 8 %

ÁREA AMUEBLABLE 924 M2 92 %

Figura IV.33. Análisis de Amueblabilidad Umeda Sky.



NATIONAL COMMERCIAL BANK

ÁREA TOTAL 2067 M2

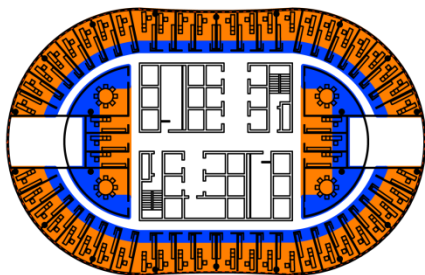
ÁREA USABLE 1445 M2

ÁREA NO AMUEBLABLE 585 M2 40 %

ÁREA METAMÓDULABLE 858 M2 60 %

Figura IV.34. Análisis de Amueblabilidad National Commercial Bank.





TORRE MAX FRANKFURT

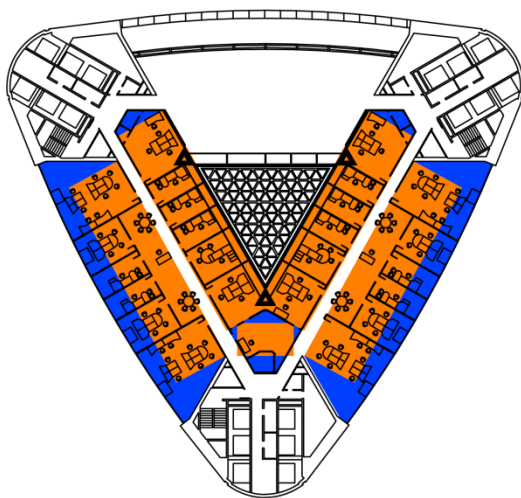
**ÁREA TOTAL 1381 M2**

**ÁREA USABLE 802 M2**

**ÁREA NO AMUEBLABLE 191 M2 24 %**

**ÁREA AMUEBLABLE 609 M2 76 %**

Figura IV.35. Análisis de Amueblabilidad Torre Max Frankfurt.



COMMERZBANK

**ÁREA TOTAL 1947 M2**

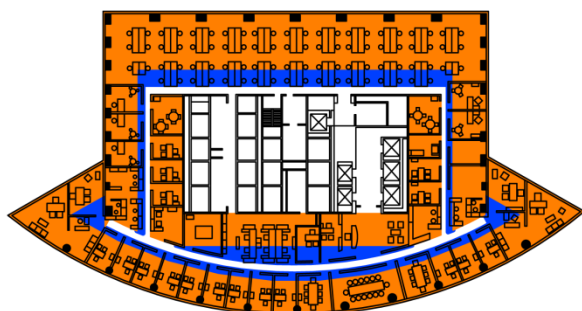
**ÁREA USABLE 1103 M2**

**ÁREA NO AMUEBLABLE 298 M2 27 %**

**ÁREA AMUEBLABLE 801 M2 73 %**

Figura IV.36. Análisis de Amueblabilidad Commerzbank.





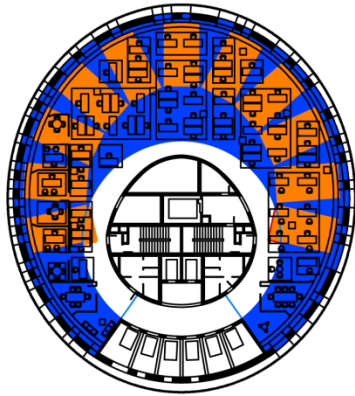
TORRE MAYOR  
**ÁREA TOTAL 1971 M2**  
**ÁREA USABLE 1392 M2**  
**ÁREA NO AMUEBLABLE 221 M2 16 %**  
**ÁREA AMUEBLABLE 1170 M2 84 %**

Figura IV.38. Análisis de Amueblabilidad Torre Mayor.



TOUR SANS FINS  
**ÁREA TOTAL 1586 M2**  
**ÁREA USABLE 810 M2**  
**ÁREA NO AMUEBLABLE 274 M2 34 %**  
**ÁREA AMUEBLABLE 536 M2 66 %**

Figura IV.37. Análisis de Amueblabilidad Tour Sans Fins.



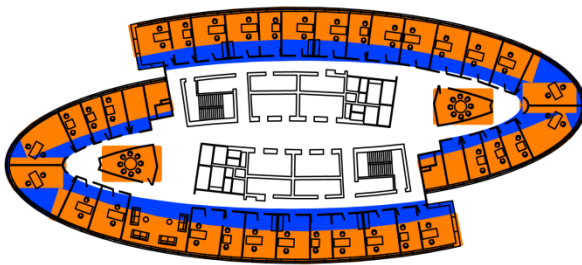
TORRE AGBAR  
**ÁREA TOTAL 1126 M2**

**ÁREA USABLE 688 M2**

**ÁREA NO AMUEBLABLE 380 M2 55 %**

**ÁREA AMUEBLABLE 308 M2 45 %**

Figura IV.39. Análisis de Amueblabilidad Torre Agbar.



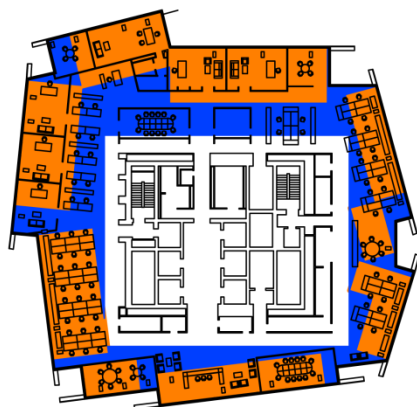
TORRE GAP 15  
**ÁREA TOTAL 1725 M2**

**ÁREA USABLE 1013 M2**

**ÁREA NO AMUEBLABLE 326 M2 32 %**

**ÁREA AMUEBLABLE 687 M2 68 %**

Figura IV.40. Análisis de Amueblabilidad Torre GAP 15.



LONDON BRIDGE TOWER

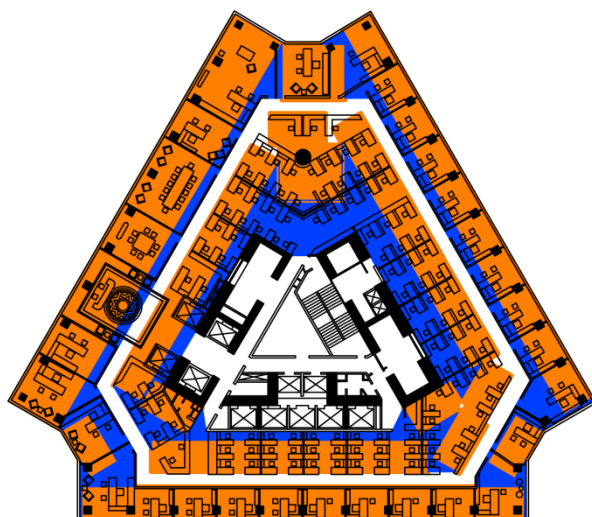
**ÁREA TOTAL 1945 M2**

**ÁREA USABLE 1118 M2**

**ÁREA NO AMUEBLABLE 420 M2 38 %**

**ÁREA AMUEBLABLE 698 M2 62 %**

Figura IV.41. Análisis de Amueblabilidad London Bridge Tower.



CENTRAL PLAZA

**ÁREA TOTAL 3121 M2**

**ÁREA USABLE 2210 M2**

**ÁREA NO AMUEBLABLE 554 M2 25 %**

**ÁREA AMUEBLABLE 1656 M2 75 %**

Figura IV.42. Análisis de Amueblabilidad Central Plaza.



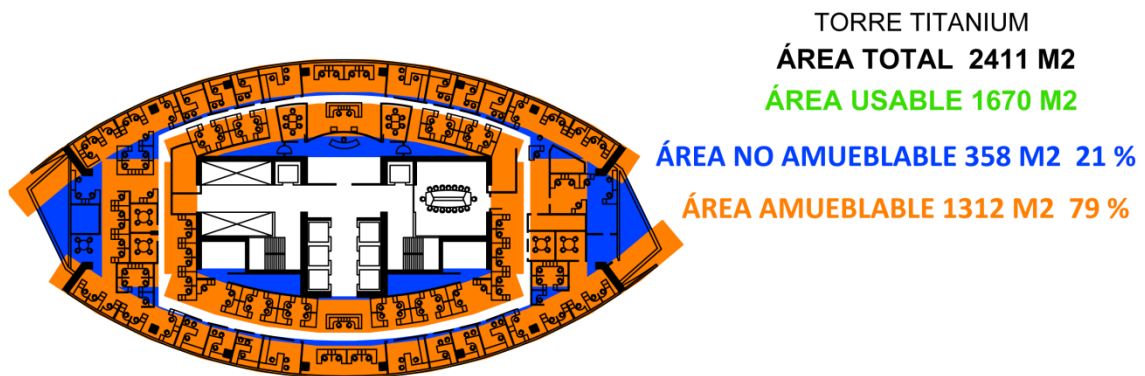


Figura IV.43. Análisis de Amueblabilidad Torre Titanium.

Con base en el análisis previo de Amueblabilidad de los diferentes casos de estudio, se obtienen los mejores casos y los peores, según el porcentaje mayor o menor de cada una de las plantas arquitectónicas.



## Mejores casos de estudio

### Caso 1. Umeda Sky

Los mejores casos se determinan según el mayor porcentaje de área Amueblable, determinada por el acomodo optimo del metamódulo. En el caso del edificio Umeda Sky presenta 924 m<sup>2</sup> y un porcentaje de 92.

La planta arquitectónica muestra una distribución ortogonal al ubicar los espacios en relación al núcleo estructural, logrando obtener un acomodo plenamente lineal y modulado.

AMUEBLABILIDAD	
ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2
924	78
0.92	0.08

Tabla IV-6. Datos cuantificables de Amueblabilidad del edificio Umeda Sky.

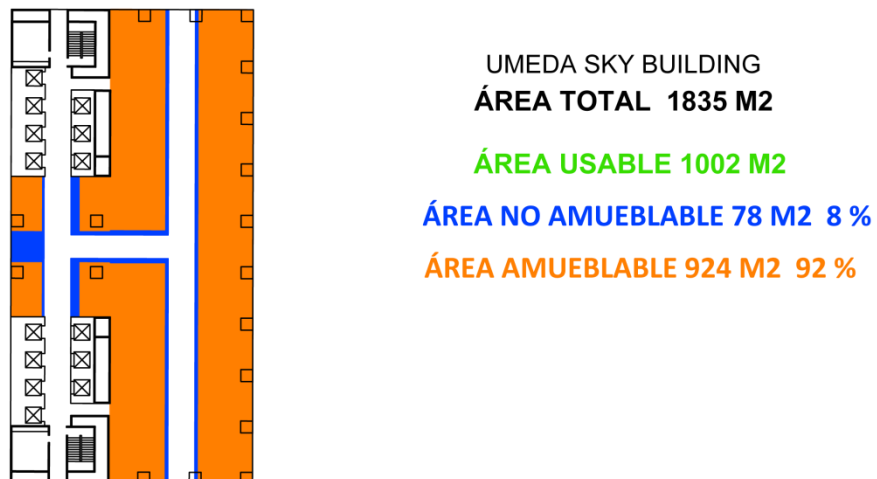


Figura IV.44. Análisis de Amueblabilidad, Planta tipo Umeda Sky.

**Caso 2. Torre Mayor.**

En el caso del edificio Torre Mayor, por su parte, presenta 1170 m<sup>2</sup> y un porcentaje de 84.

La planta arquitectónica muestra una distribución centralizada al ubicar los servicios como un núcleo central, lo que propicia que las circulaciones tengan una distribución en anillo, con lo que se logra relacionar el área de oficinas.

AMUEBLABILIDAD	
ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2
1170	221
0.84	0.16

Tabla IV-7. Datos cuantificables de Amueblabilidad del edificio Torre Mayor.

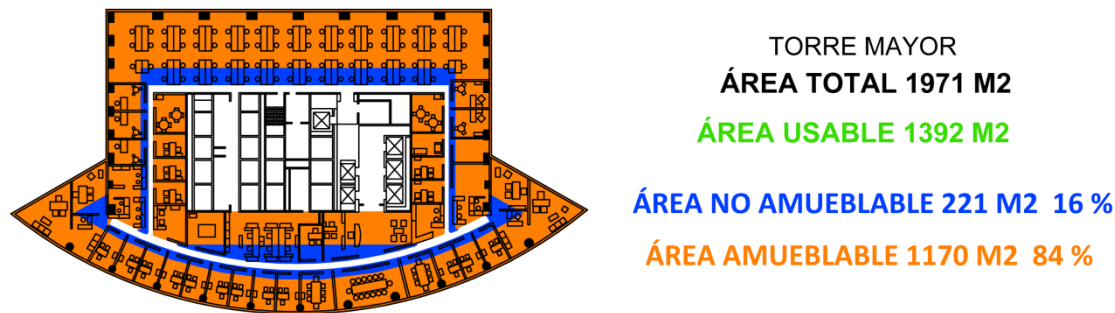


Figura IV.45. Análisis de Amueblabilidad, Planta tipo Torre Mayor.



## Tendencias de los mejores casos de estudio

La sobreposición de las plantas arquitectónicas de los mejores casos de estudio, muestra las tendencias mencionadas en el análisis individual. Al colocar una imagen sobre otra, se resaltan los colores de identificación del análisis de Amueblabilidad. En la imagen se muestra que el área de oficinas -que se muestra de color naranja- se enfatiza con la centralización y, al igual que las circulaciones, tiene la característica de distribución perimetral al núcleo de forma ortogonal y alineada al núcleo estructural. Lo más importante, además, es que se muestra un doble acomodo del metamódulo en relación a una sola circulación.

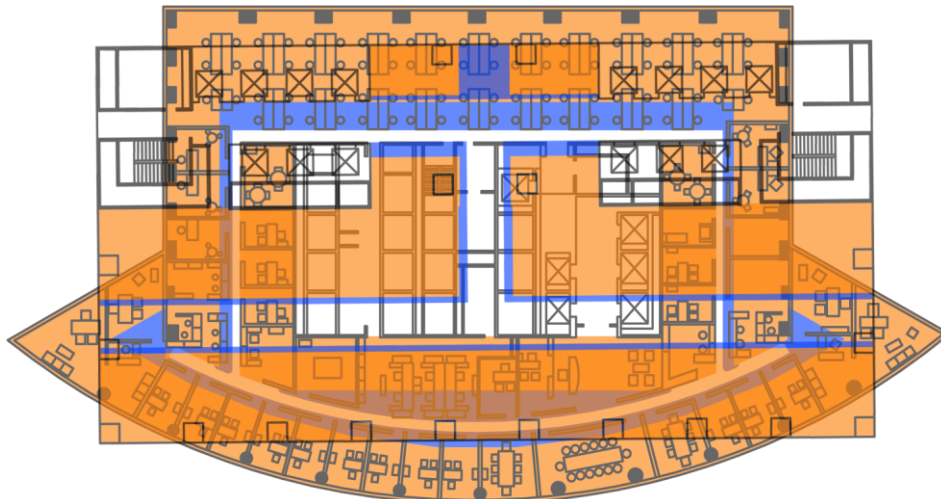


Figura IV.46. Sobreposición de los mejores casos de estudio.

**Peores casos de estudio.**

**Caso 1. National Commercial Bank.**

Los peores casos se determinan según el menor porcentaje de Amueblabilidad, determinada por el área de oficinas. En el caso del National Commercial Bank, presenta 585 m<sup>2</sup> y un porcentaje de 40.

La planta arquitectónica muestra una distribución descentralizada al ubicar los servicios de forma separada y perimetral, lo que propicia que las circulaciones tengan una distribución más alargada, con lo que se logra relacionar el área de oficinas.

AMUEBLABILIDAD	
ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2
858	585
0.6	0.40

Tabla IV-8. Datos cuantificables de Amueblabilidad del edificio National Commercial Bank.

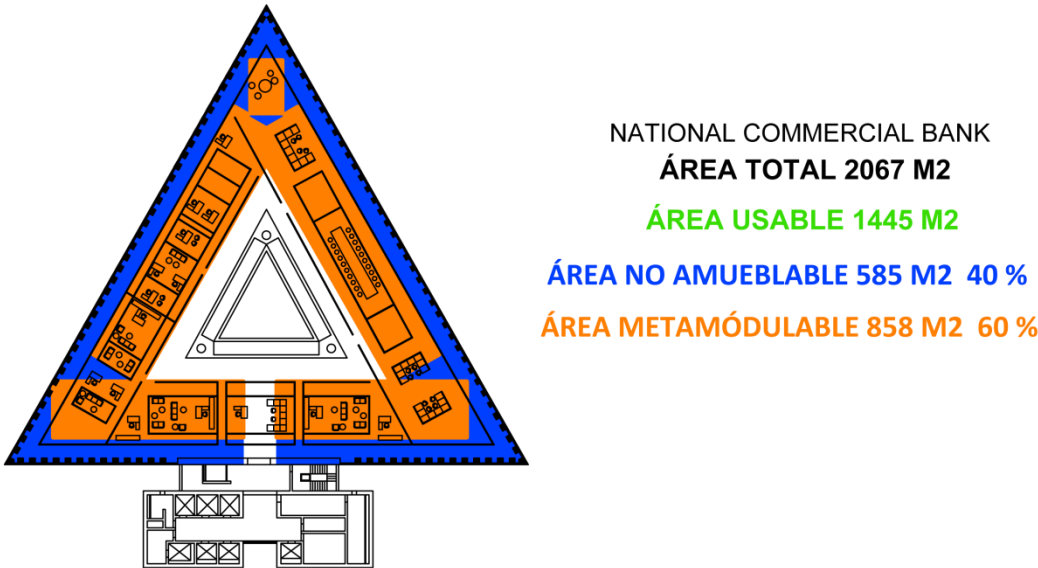


Figura IV.47. Análisis de Amueblabilidad edificio National Commercial Bank.



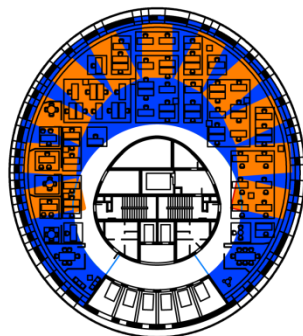
## Caso 2. Torre Agbar.

Por su parte, el caso de la Torre Agbar, presenta 380 m<sup>2</sup> y un porcentaje de 55.

La planta arquitectónica muestra una distribución semejante al caso 1.

AMUEBLABILIDAD	
ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2
308	380
0.45	0.55

Tabla IV-9. Datos cuantificables de Amueblabilidad del edificio Torre Agbar.



TORRE AGBAR  
ÁREA TOTAL 1126 M2  
ÁREA USABLE 688 M2

ÁREA NO AMUEBLABLE 380 M2 55 %  
ÁREA AMUEBLABLE 308 M2 45 %

Figura IV.48. Análisis de Amueblabilidad edificio Torre Agbar.



## Tendencias de los peores casos de estudio

La sobreposición de las plantas arquitectónicas de los peores casos de estudio, muestra las tendencias mencionadas en el análisis individual. Al colocar una imagen sobre otra, se resaltan los colores de identificación del análisis de Amueblabilidad. En la imagen se muestra que el área de oficinas, en color azul, se enfatiza con la descentralización y el área de metamódulo, al igual que las circulaciones, tiene la característica de distribución dispersa y exceso de circulaciones generando un desperdicio de área.

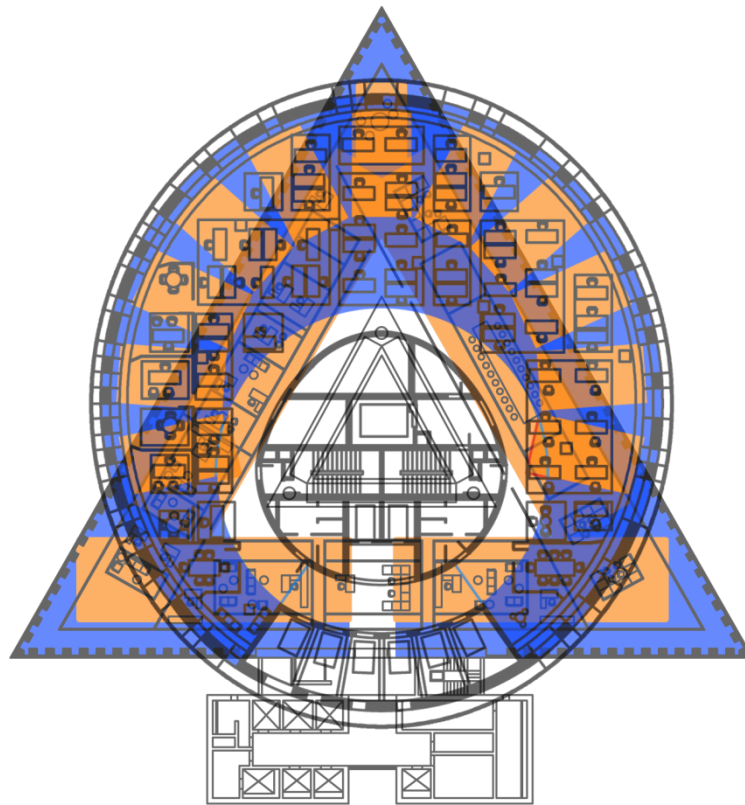


Figura IV.49. Sobreposición de los mejores casos de estudio.



UMEDA SKY BUILDING				AMUEBLABILIDAD	
ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2
1835.088	530.8896	302.4651	1001.8413	924	78
%	0.29	0.16	0.55	0.92	0.08
			100%		100%
NATIONAL COMMERCIAL BANK				AMUEBLABILIDAD	
ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2
2067.295	335.4738	287.629	1444.6174	858	585
%	0.16	0.14	0.70	0.6	0.40
			100%		100%
TORRE MAX FRANKFURT				AMUEBLABILIDAD	
ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2
1380.6328	385.2686	192.9728	802.2639	609	191
%	0.28	0.14	0.58	0.76	0.24
			100%		100%
COMMERZBANK				AMUEBLABILIDAD	
ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2
1947.1967	665.1912	179.1851	1102.8618	801	298
%	0.34	0.09	0.57	0.73	0.27
			100%		100%
TORRE MAYOR				AMUEBLABILIDAD	
ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2
1970.8234	430.4685	148.2998	1391.8448	1170	221
%	0.22	0.08	0.71	0.84	0.16
			100%		100%
TOUR SANS FINS				AMUEBLABILIDAD	
ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2
1586.3986	481.6888	295.1023	809.5113	536	274
%	0.30	0.19	0.51	0.66	0.34
			100%		100%
TORRE AGBAR				AMUEBLABILIDAD	
ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2
1126.3414	321.4706	116.5049	688.3658	308	380
%	0.29	0.10	0.61	0.45	0.55
			100%		100%
TORRE GAP 15				AMUEBLABILIDAD	
ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2
1725.4939	409.3131	303.069	1013.1117	687	326
%	0.24	0.18	0.59	0.68	0.32
			100%		100%
LONDON BRIGE TOWER				AMUEBLABILIDAD	
ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2
1944.7981	481.6888	344.4175	1118.0104	698	420
%	0.25	0.18	0.57	0.62	0.38
			100%		100%
CENTRAL PLAZA				AMUEBLABILIDAD	
ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2
3121.2191	603.6324	307.2407	2209.8059	1656	554
%	0.19	0.10	0.71	0.75	0.25
			100%		100%
TORRE TITANIUM				AMUEBLABILIDAD	
ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2
2411.3209	578.2395	162.9692	1669.868	1312	358
%	0.24	0.07	0.69	0.79	0.21

Tabla IV-10. Datos cuantificables de Amueblabilidad de los casos de estudio.



## Flexibilidad

El término flexibilidad es la calidad de la planificación del tamaño, proporciones, forma, y la relación de una determinada entidad con las otras, de tal manera que puede soportar más de un propósito.

En la vida cotidiana, cualquier persona puede utilizar casi cualquier espacio para cualquier fin. Él o ella pueden hacer esto de vez en cuando o de manera semi-permanente, con todo lo importante que implica la planificación del diseño, es la calidad del desempeño de la mayoría de las personas y de cómo obtienen un espacio diseñado con un propósito diverso.

Este término se refiere a la calidad de un proyecto de propiciar dentro de su estructura cambios de Amueblabilidad siguiendo los cambios de la propia organización y desarrollo de la empresa a quien va dirigida. De tal forma que podemos apreciar cuándo las proporciones y tamaños de las áreas proyectadas permiten que grupos de privados se transformen en áreas compartidas (salas de junta, de proyección, etc.) o comunes (grupos secretariales, áreas de dibujo, etc.)

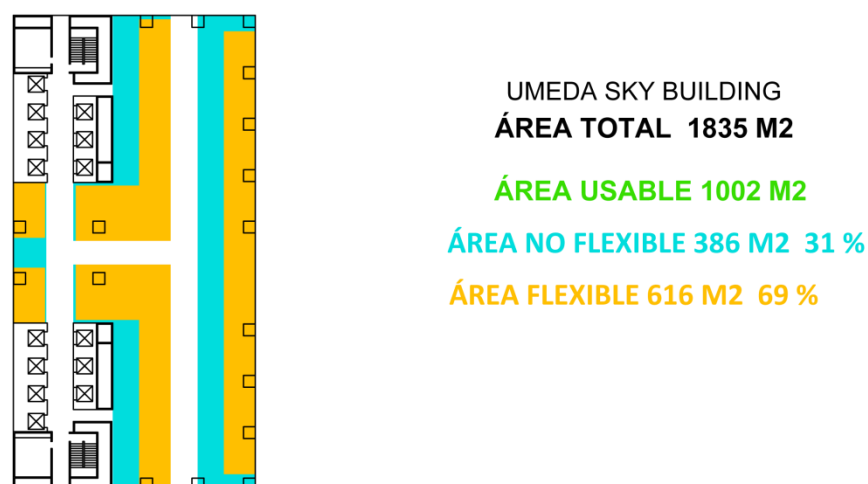
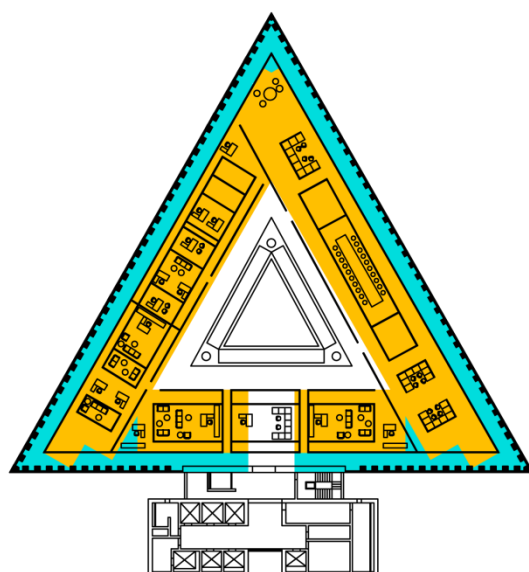


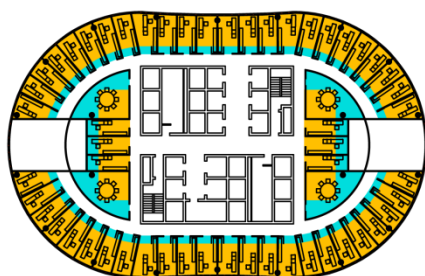
Figura IV.50. Análisis de Flexibilidad rascacielos Umeda Sky Building.





NATIONAL COMMERCIAL BANK  
**ÁREA TOTAL 2067 M2**  
**ÁREA USABLE 1445 M2**  
**ÁREA NO FLEXIBLE 438 M2 30 %**  
**ÁREA FLEXIBLE 1006 M2 70 %**

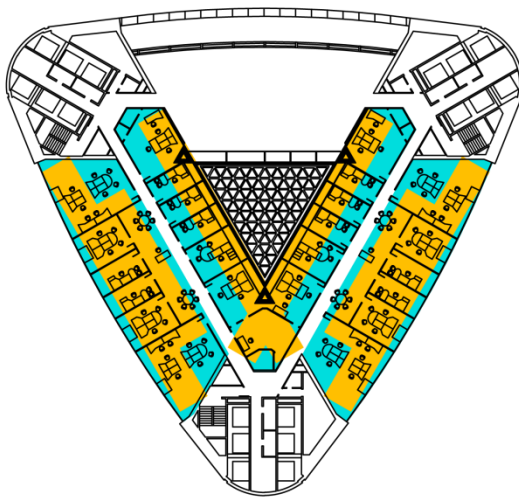
Figura IV.51. Análisis de Flexibilidad rascacielos National Commercial Bank.



TORRE MAX FRANKFURT  
**ÁREA TOTAL 1381 M2**  
**ÁREA USABLE 802 M2**  
**ÁREA NO FLEXIBLE 193 M2 24 %**  
**ÁREA FLEXIBLE 609 M2 76 %**

Figura IV.52. Análisis de Flexibilidad rascacielos Max Frankfurt.





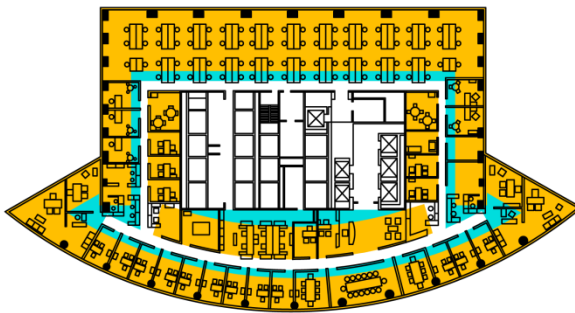
COMMERZBANK  
 ÁREA TOTAL 1947 M2

ÁREA USABLE 1103 M2

ÁREA NO FLEXIBLE 401 M2 34 %

ÁREA FLEXIBLE 709 M2 64 %

Figura IV.53. Análisis de Flexibilidad rascacielos Commerzbank.



TORRE MAYOR  
 ÁREA TOTAL 1971 M2

ÁREA USABLE 1392 M2

ÁREA NO FLEXIBLE 242 M2 17 %

ÁREA FLEXIBLE 1150 M2 83 %

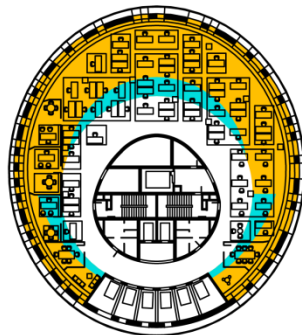
Figura IV.54. Análisis de Flexibilidad rascacielos Torre Mayor.



TOUR SANS FINS  
**ÁREA TOTAL 1586 M2**  
**ÁREA USABLE 810 M2**

**ÁREA NO FLEXIBLE 240 M2 30 %**  
**ÁREA FLEXIBLE 570 M2 70 %**

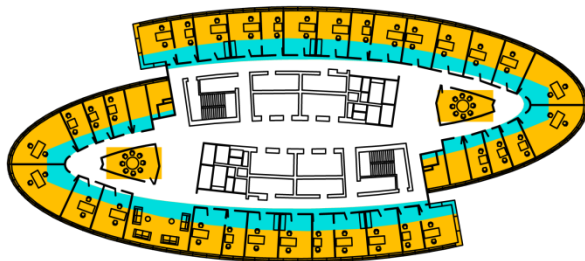
Figura IV.55. Análisis de Flexibilidad rascacielos Tour Sans Fins



TORRE AGBAR  
**ÁREA TOTAL 1126 M2**  
**ÁREA USABLE 688 M2**

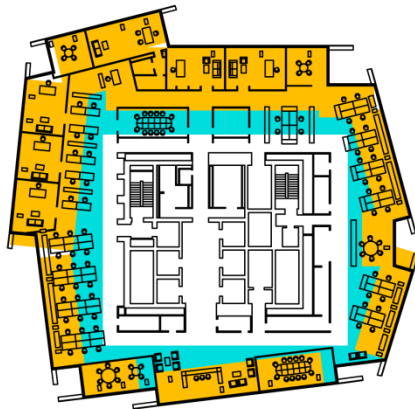
**ÁREA NO FLEXIBLE 196 M2 28 %**  
**ÁREA FLEXIBLE 492 M2 72 %**

Figura IV.56. Análisis de Flexibilidad rascacielos Torre Agbar.



TORRE GAP 15  
**ÁREA TOTAL 1725 M2**  
**ÁREA USABLE 1013 M2**  
**ÁREA NO FLEXIBLE 301 M2 28 %**  
**ÁREA FLEXIBLE 722 M2 72 %**

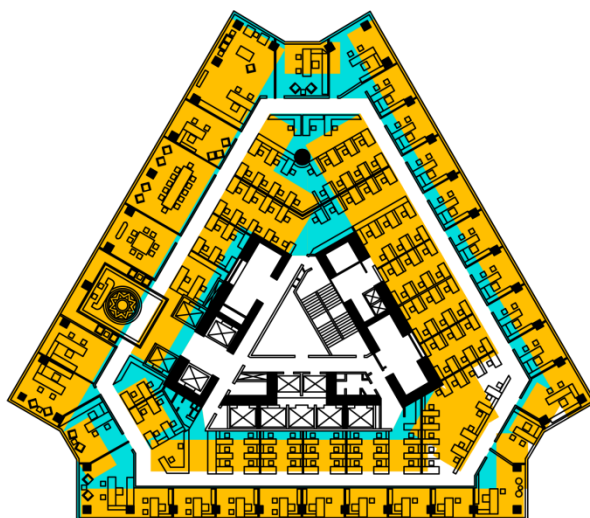
Figura IV.57. Análisis de Flexibilidad rascacielos Torre Gap 15.



LONDON BRIDGE TOWER  
**ÁREA TOTAL 1945 M2**  
**ÁREA USABLE 1118 M2**  
**ÁREA NO FLEXIBLE 332 M2 30 %**  
**ÁREA FLEXIBLE 786 M2 70 %**

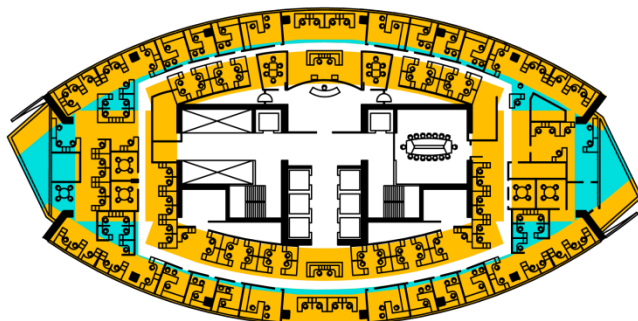
Figura IV.58. Análisis de Flexibilidad rascacielos London Bridge.





CENTRAL PLAZA  
**ÁREA TOTAL 3121 M2**  
**ÁREA USABLE 2210 M2**  
 ÁREA NO FLEXIBLE 484 M2 22 %  
 ÁREA FLEXIBLE 1726 M2 78 %

Figura IV.59. Análisis de Flexibilidad rascacielos Central Plaza.



TORRE TITANIUM  
**ÁREA TOTAL 2411 M2**  
**ÁREA USABLE 1670 M2**  
 ÁREA NO FLEXIBLE 347 M2 21 %  
 ÁREA FLEXIBLE 1323 M2 79 %

Figura IV.60. Análisis de Flexibilidad rascacielos Torre Titanium.

Con base en el análisis previo de Flexibilidad de los diferentes casos de estudio, se obtienen los mejores casos y los peores, según el porcentaje mayor o menor de cada una de las plantas arquitectónicas.

Mejores casos de estudio

Caso 1. Torre Mayor.

Los mejores casos se determinan según el mayor porcentaje de área flexible, determinada por el acomodo optimo del metamódulo. En el caso de la Torre Mayor, presenta 1150 m<sup>2</sup> y un porcentaje de 83.

La planta arquitectónica muestra una distribución centralizada al ubicar los servicios como un núcleo central, lo que propicia que las circulaciones tengan una distribución en anillo, con lo que se logra relacionar el área de oficinas.

FLEXIBILIDAD	
ÁREA FLEXIBLE	ÁREA NO FLEXIBLE
1150	242
0.83	0.17

Tabla IV-11. Datos cuantificables de Flexibilidad de Torre Mayor.

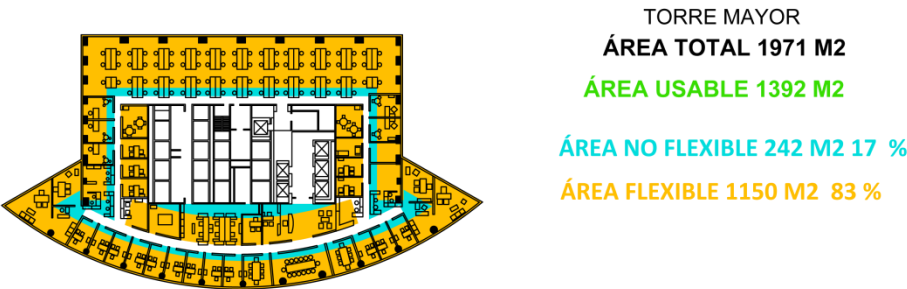


Figura IV.61. Análisis de Flexibilidad, Planta tipo Torre Mayor.



**Caso 2. Torre Titanium.**

En el caso de la Torre Titanium, vemos que presenta 1323 m<sup>2</sup> y un porcentaje de 79.

La planta arquitectónica muestra una distribución semejante al caso 1.

FLEXIBILIDAD	
ÁREA FLEXIBLE	ÁREA NO FLEXIBLE
1323	347
0.79	0.21

Tabla IV-12. Datos cuantificables de Flexibilidad de Torre Titanium.

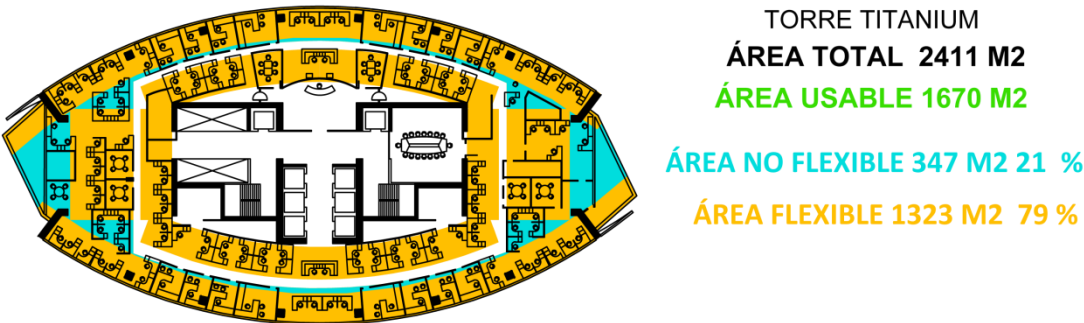


Figura IV.62. Análisis de Flexibilidad, Planta tipo Torre Titanium.

## Tendencias de los mejores casos de estudio

La sobreposición de las plantas arquitectónicas de los mejores casos de estudio, muestra las tendencias mencionadas en el análisis individual. Al colocar una imagen sobre otra, se resaltan los colores de identificación del análisis de Flexibilidad. En la imagen se muestra que el área oficinas, de color amarillo, se enfatiza con la centralización y, al igual que las circulaciones, tiene la característica de distribución perimetral al núcleo, con lo que se obtiene una mejor Flexibilidad de la distribución interna de los elementos que componen este tipo de plantas arquitectónicas.

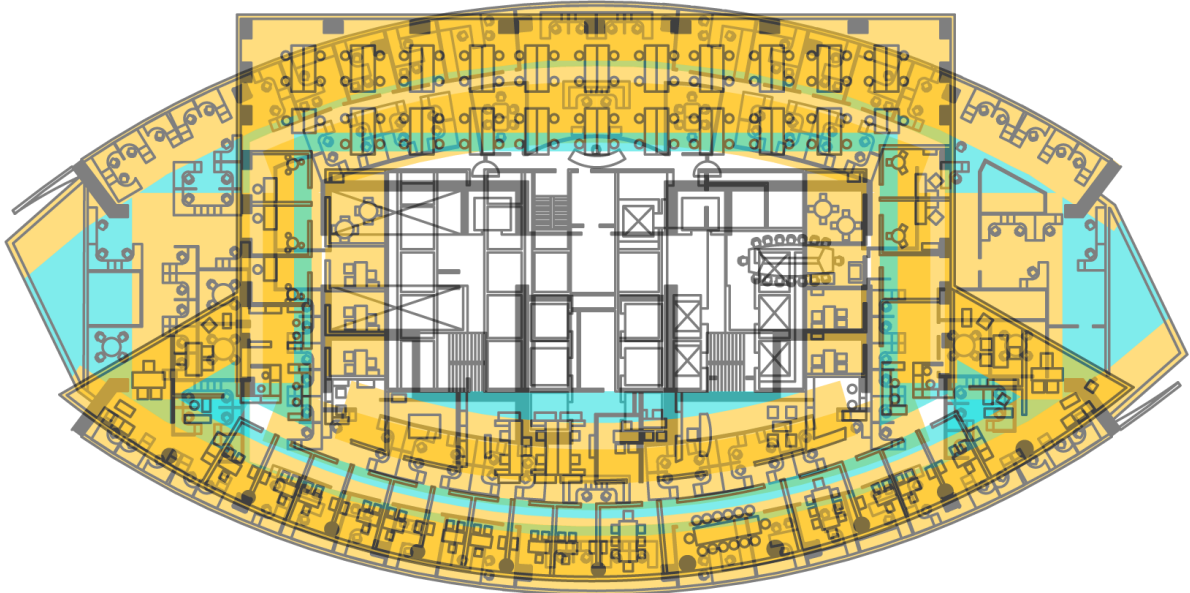


Figura IV.63. Sobreposición de los mejores casos de estudio.

## Peores casos de estudio.

### Caso 1. Umeda Sky

Los peores casos se determinan según el menor porcentaje de área Flexible, determinada por el área de oficinas. En el caso de la Umeda Sky, presenta 616 m<sup>2</sup> con un 69 de porcentaje.

La planta arquitectónica muestra una distribución descentralizada al ubicar los servicios de forma separada y perimetral, lo que propicia que las circulaciones tengan una distribución más alargada, con lo que se logra relacionar el área de oficinas.

ÁREA FLEXIBLE	ÁREA NO FLEXIBLE
616	386
0.61	0.39

Tabla IV-13. Datos cuantificables de Flexibilidad de Umeda Sky.

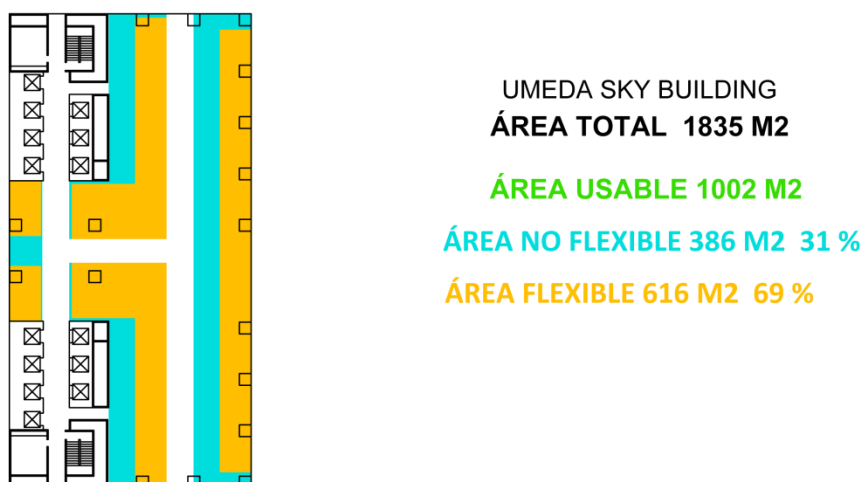


Figura IV.64. Análisis de Flexibilidad, Planta tipo Umeda Sky.

**Caso 2. Commerzbank**

Por su parte, en el caso de la Commerzbank, presenta 709 m<sup>2</sup> con un 64 de porcentaje.

La planta arquitectónica muestra una distribución igual al caso anterior.

FLEXIBILIDAD	
ÁREA FLEXIBLE	ÁREA NO FLEXIBLE
702	401
0.64	0.36

Tabla IV-14. Datos cuantificables de Flexibilidad de Commerzbank.

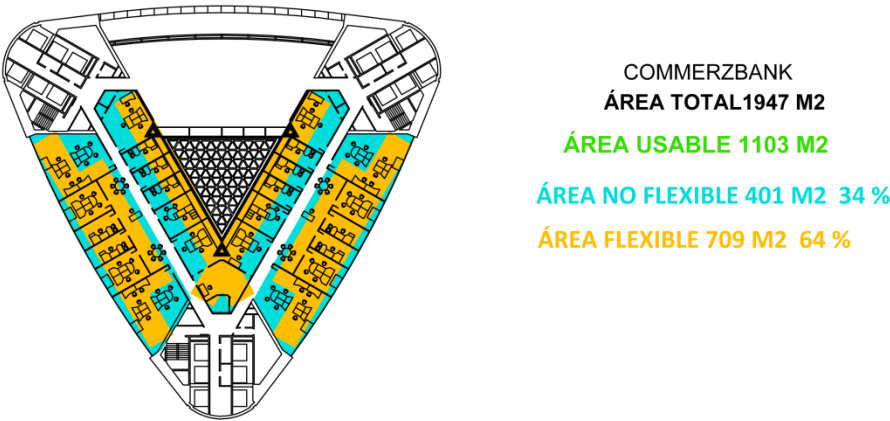


Figura IV.65. Análisis de Flexibilidad, Planta tipo Commerzbank.





## Tendencias de los peores casos de estudio

Como ya se ha mencionado, la sobreposición de las plantas arquitectónicas de los peores casos de estudio, muestra las tendencias mencionadas en el análisis individual. Al colocar una imagen sobre otra, se resaltan los colores de identificación del análisis de Flexibilidad. En la imagen se muestra que el área oficinas, de color amarillo, se enfatiza con la descentralización, a causa del área de servicios, se provoca un mal funcionamiento y una falta de Flexibilidad en la distribución interna de la planta arquitectónica.

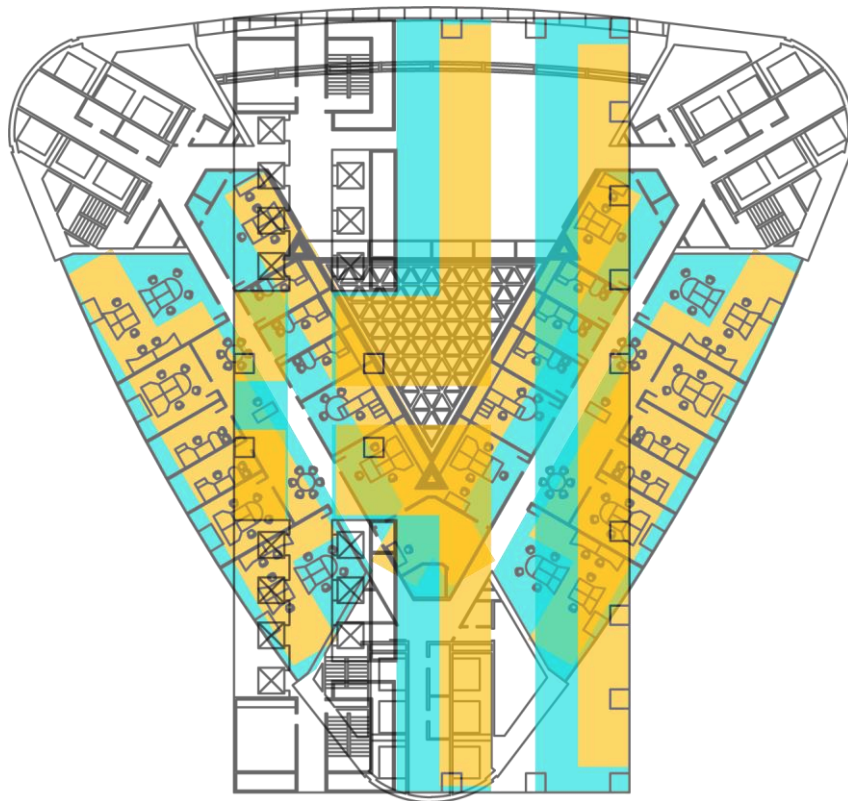


Figura IV.66. Sobreposición de los peores casos de estudio.

1	UMEDA SKY BUILDING				AMUEBLABILIDAD		FLEXIBILIDAD	
	ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2	ÁREA FLEXIBLE	ÁREA NO FLEXIBLE
	1835.088	530.8896	302.4651	1001.8413	924	78	616	386
	%	0.29	0.16	0.55	0.92	0.08	0.61	0.39
2	NATIONAL COMMERCIAL BANK				AMUEBLABILIDAD		FLEXIBILIDAD	
	ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2	ÁREA FLEXIBLE	ÁREA NO FLEXIBLE
	2067.295	335.4738	287.629	1444.6174	858	585	1006	438
	%	0.16	0.14	0.70	0.6	0.40	0.70	0.30
3	TORRE MAX FRANKFURT				AMUEBLABILIDAD		FLEXIBILIDAD	
	ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2	ÁREA FLEXIBLE	ÁREA NO FLEXIBLE
	1380.6328	385.2686	192.9728	802.2639	609	191	609	193
	%	0.28	0.14	0.58	0.76	0.24	0.76	0.24
4	COMMERZBANK				AMUEBLABILIDAD		FLEXIBILIDAD	
	ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2	ÁREA FLEXIBLE	ÁREA NO FLEXIBLE
	1947.1967	665.1912	179.1851	1102.8618	801	296	702	401
	%	0.34	0.09	0.57	0.73	0.27	0.64	0.36
5	TORRE MAYOR				AMUEBLABILIDAD		FLEXIBILIDAD	
	ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2	ÁREA FLEXIBLE	ÁREA NO FLEXIBLE
	1970.8234	430.4685	148.2998	1391.8448	1170	221	1150	242
	%	0.22	0.08	0.71	0.64	0.36	0.83	0.17
6	TOUR SANS FINS				AMUEBLABILIDAD		FLEXIBILIDAD	
	ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2	ÁREA FLEXIBLE	ÁREA NO FLEXIBLE
	1586.3986	481.6888	295.1023	809.5113	536	274	570	240
	%	0.30	0.19	0.51	0.66	0.34	0.70	0.30
7	TORRE AGBAR				AMUEBLABILIDAD		FLEXIBILIDAD	
	ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2	ÁREA FLEXIBLE	ÁREA NO FLEXIBLE
	1126.3414	321.4706	116.5049	688.3658	308	380	492	196
	%	0.29	0.10	0.61	0.45	0.55	0.71	0.28
8	TORRE GAP 15				AMUEBLABILIDAD		FLEXIBILIDAD	
	ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2	ÁREA FLEXIBLE	ÁREA NO FLEXIBLE
	1725.4939	409.3131	303.069	1013.1117	687	326	722	301
	%	0.24	0.18	0.59	0.68	0.32	0.71	0.30
9	LONDON BRIGE TOWER				AMUEBLABILIDAD		FLEXIBILIDAD	
	ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2	ÁREA FLEXIBLE	ÁREA NO FLEXIBLE
	1944.7981	481.6888	344.4175	1118.0104	698	420	786	332
	%	0.25	0.18	0.57	0.62	0.38	0.70	0.30
10	CENTRAL PLAZA				AMUEBLABILIDAD		FLEXIBILIDAD	
	ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2	ÁREA FLEXIBLE	ÁREA NO FLEXIBLE
	3121.2191	603.6324	307.2407	2209.8059	1656	554	1726	484
	%	0.19	0.10	0.71	0.75	0.25	0.78	0.22
11	TORRE TITANIUM				AMUEBLABILIDAD		FLEXIBILIDAD	
	ÁREA TOTAL M2	SERVICIOS M2	CIRCULACIONES M2	ÁREA USABLE M2	ÁREA METAMODULABLE M2	ÁREA NO METAMODULABLE M2	ÁREA FLEXIBLE	ÁREA NO FLEXIBLE
	2411.3209	578.2385	162.9692	1669.868	1312	358	1323	347
	%	0.24	0.07	0.69	0.79	0.21	0.79	0.21

Tabla IV-15. Datos cuantificables de Flexibilidad de los casos de estudio.



## Conclusiones

La metodología empleada nos proporciona datos muy importantes de las características de los rascacielos analizados. Por un lado la capacidad de entender el comportamiento de las actividades humanas en relación a una serie de espacios y el mejor ordenamiento de los elementos que complementan a un proyecto.

Los parámetros mediante los cuales podemos determinar estas características son:

El **Área Usable** se refiere a la calidad que podemos predicar de un diseño que se centra en desperdiciar el mínimo espacio en lugar de reducir de tamaño cada espacio para minimizar el costo total de la construcción. La Usabilidad hace referencia a la cualidad de un proyecto de ofrecer las condiciones del entorno para apoyar las actividades específicas de una empresa.

La **Flexibilidad** se refiere a la calidad de una planta diseñada, que concibe y planifica diferentes usos en un mismo espacio determinado a fin de apoyar, y no limitar, los diferentes estilos de vida individuales de los usuarios, ya que el usuario cambia sus estilos de vida a través de un largo período de tiempo.

El término **Amueblabilidad** se refiere a la cualidad que cada espacio ofrece a su usuario para dar cabida a diversas series, y a la superposición de artefactos y objetos incrustados en la práctica de la vida laboral, siguiendo con el propósito particular de cada empresa. Es decir, este término hace referencia a la cualidad de un proyecto de ofrecer las condiciones más óptimas del entorno para apoyar las actividades específicas de una empresa.

Al final de este apartado entendemos la parte interna y el funcionamiento de una serie de relaciones que se ven definidas por varios tipos de espacios como la oficina, la sala de juntas y las áreas comunes.



Esto permite relacionar la investigación con los siguientes capítulos, en donde se visualiza el comportamiento del viento en una serie de casos de estudio, mismos que permiten entender mucho mejor las tendencias resultantes de la metodología antes mencionada y de la cual resultaron como ya lo vimos, una serie de tendencias en la planta arquitectónica de este tipo de edificios.

Algunas de estas plantas arquitectónicas son mucho más eficientes en su distribución interna lo que propicia que la entidad exterior tenga una similitud en cuanto la forma final que debería de seguirse para la proyectación de rascacielos mucho más eficientes.

Estas figuras tienen la peculiar característica de permitir un área usable mucho más alta en porcentaje de ocupación, una óptima flexibilidad de uso del espacio y una alta Amueblabilidad para que los usuarios tengan la facilidad de modificar su entorno de trabajo. Si bien hay varios casos de estudio que apoyan a cada parámetro en menor y mayor medida, esto se traduce en que de acuerdo a las características de la empresa que ocupe estas plantas arquitectónicas tipo, se puedan tener de forma mucho más exacta espacios que cumplan mucho acorde a sus requerimientos y forma de trabajo.

Esto nos permite entender la composición de la edificación en su totalidad y para ello en los próximos capítulos se vuelve de suma importancia visualizar (entender) su comportamiento ante uno de los factores exteriores que define su forma final, el viento.



# Capítulo V.

## METODOLOGÍA DE VISUALIZACIÓN EXPERIMENTAL Y NUMÉRICA DE LOS CASOS ESTUDIO

En el presente capítulo voy a exponer el procedimiento metodológico para la visualización del viento en los modelos físicos a escala dentro de un túnel aerodinámico.

La Dinámica de Fluidos Computacional -CFD por sus siglas en inglés- es una herramienta que permite el análisis de fluidos. Basándome en esta técnica de análisis numérico, estudiaré los diferentes efectos del viento.



## Introducción

La metodología de visualización de los casos de estudio se divide en dos etapas. La primera etapa contempla el análisis de los modelos a escala en el túnel aerodinámicos de circuito abierto, con la técnica de visualización de líneas de humo. La segunda etapa, por su parte, contempla el análisis con la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para poder comparar los resultados obtenidos de la prueba física.

El análisis que presento de los modelos a escala se realizó en un túnel de viento de baja velocidad y de circuito abierto, mediante la simplificación de las figuras geométricas con el fin de facilitar la metodología de visualización.

El análisis de los modelos a escala 1:100 permitirá evaluar el comportamiento de las diferentes geometrías de los rascacielos, ya que se logra emular las condiciones reales del movimiento de los fluidos a partir de las leyes de escala necesarias para obtener resultados lo más próximos posibles y lo más confiables.

El túnel de viento o túnel aerodinámico es una herramienta que nos permite estudiar el comportamiento del aire cuando ponemos un objeto dentro de su flujo. Ese objeto puede ser cualquier cosa: un edificio, un auto, etc.

Generalmente se utilizan maquetas a escala para reducir el costo o, simplemente, porque el objeto real es demasiado grande. A pesar de ello, debemos tener en cuenta que el tamaño de la maqueta influye en los resultados del ensayo. Cuanto más grande sea la maqueta y más parecida al objeto real, mejores serán los resultados del análisis. Lo que nos permite éste es estudiar el movimiento relativo entre el objeto y el aire.



## Túnel de viento

Un túnel de viento es una instalación experimental que permite reproducir una corriente de viento para visualizar y medir los efectos que se producen sobre un cuerpo.

En la arquitectura bioclimática se utilizan túneles de viento subsónico de baja velocidad o de capa límite, que permiten visualizar y medir el efecto e impacto del viento en las superficies de los edificios tanto de forma externa como interna.

La importancia de usar un túnel de viento para el análisis y la visualización, es tener una semejanza geométrica, cinemática<sup>32</sup>, térmica y dinámica entre el flujo alrededor del modelo y el flujo que rodea al modelo.

El túnel de viento de baja velocidad instalado en el Laboratorio de Bioclimática de la UAM - Azcapotzalco está integrado por una Sección de prueba efectiva de 0.25 metros x 0.25 metros, una velocidad máxima de 7 m/s y una potencia de 1/16 HP. El túnel fue creado por el ingeniero Fausto Humberto Rodríguez Ibarra.

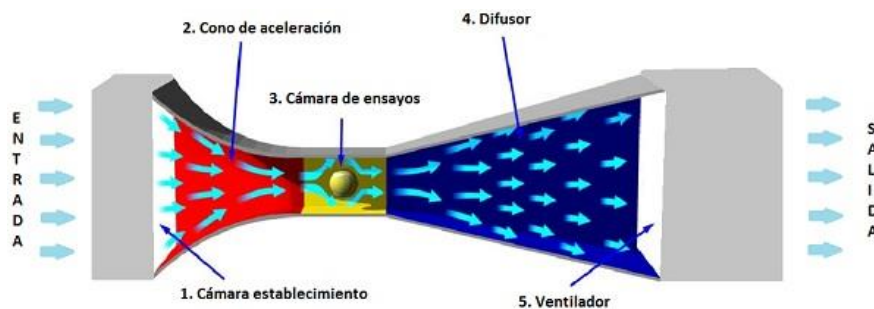


Figura V.1. Partes de un túnel de viento abierto.

<sup>32</sup> La cinemática (del griego κινεω, kineo, movimiento) es la rama de la física que estudia las leyes del movimiento de los cuerpos sin considerar las causas que lo originan (las fuerzas) y se limita, esencialmente, al estudio de la trayectoria en función del tiempo. La aceleración es el ritmo con el que cambia la velocidad. La velocidad y la aceleración son las dos principales magnitudes que describen cómo cambia la posición en función del tiempo.

## **Tipos de túneles aerodinámicos.**

Existen varias soluciones constructivas en cuanto a túneles de viento se refiere. Lógicamente, cada una de ellas tiene ventajas e inconvenientes, por lo que cada tipo será adecuado para algunas aplicaciones en concreto pero para otras no. Entre los diferentes tipos de túneles encontramos:

1. Subsónico.
2. Transónico.
3. Supersónico.
4. Hipersónico.

Los túneles subsónicos o de baja velocidad son los más comunes dado que este tipo contempla una velocidad de flujo para su análisis no mayor a los 83 m/s y puede ser de circuito abierto o cerrado.

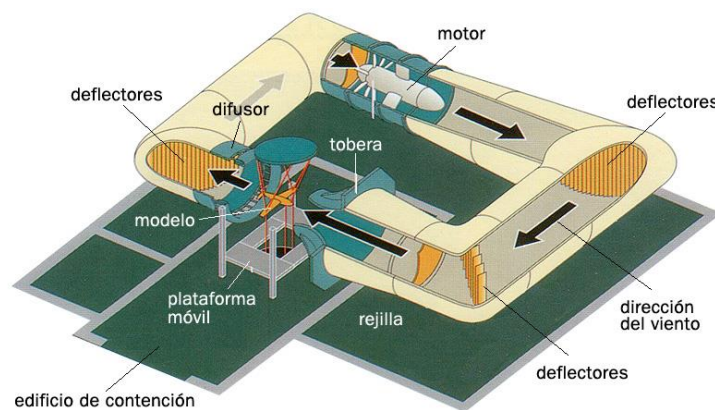
### **Túnel de circuito cerrado**

El flujo circula en el interior es de forma cíclica, recuperando el aire por medio de un difusor, manteniendo un flujo constante por mayor tiempo. Cuenta con una zona de pruebas que se alimenta mediante un estrechamiento de forma suave y que conecta con una cámara de panal para lograr la estabilización de las turbulencias, logrando disipar las turbulencias antes del estrechamiento.

El túnel toma directamente el volumen de aire para dirigirlo hacia la zona de pruebas y tiene conectada la salida de aire con la entrada. Una ventaja muy importante de este tipo de túnel cerrado es que permite tener controladas las variables termodinámicas del aire, esto es, la densidad, la temperatura y la presión.



El túnel cerrado tiene, además, menos pérdidas que el abierto por el contrario, requiere de una instalación más grande y compleja que repercute directamente en el costo de su construcción. El control de las condiciones del aire será un factor añadido al encarecimiento de este tipo de túnel.



**Figura V.2. Esquema de un túnel de viento de circuito cerrado.**

### **Túnel de circuito abierto**

Son aquéllos donde el viento realiza siempre el mismo recorrido. Es relativamente más barato en su construcción que el cerrado, pero requiere de más aire disponible consume más energía y es un tanto ruidoso.



**Figura V.3. Esquema de un túnel de viento de circuito abierto.**

## Túnel de circuito abierto de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco

El túnel de viento de baja velocidad instalado en el Laboratorio de Bioclimática de la UAM - Azcapotzalco está integrado por un mecanismo de inyección que abastece de humo al túnel de viento. (MORALES CRUZ, et al., 2014)

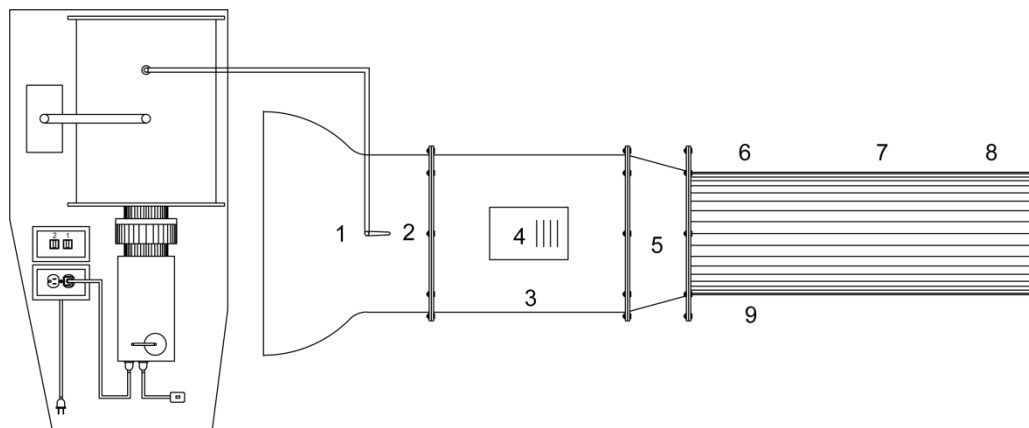


Figura V.4. Vista superior túnel de viento.

### Partes de un túnel de viento

#### Cámara de establecimiento

El objetivo de la cámara de establecimiento es uniformizar el flujo de aire. Presenta una lámina en forma de panel, es decir, está constituida de estructuras hexagonales que “rompen” el aire en múltiples flujos independientes. Esto es muy eficaz para la reducción de posibles remolinos de aire en circulación por el túnel.

### Cono de aceleración

La función del cono de aceleración, como su propio nombre indica, es acelerar la velocidad del flujo manteniéndolo ordenado y uniforme para posteriormente llegar a la cámara de ensayos.

### Cámara de ensayos

Ésta presenta una sección de prueba efectiva de 0.25 metros x 0.25 metros, una velocidad máxima de 7 m/s y una potencia de 1/16 HP. En ella se colocan los objetos de estudio y el objetivo es visualizar la influencia del viento sobre los mismos.

### Lámpara para visualización

La lámpara se localiza en la parte superior de la cámara de ensayos y permite la clara visualización de la cortina de humo sobre los objetos.

### Cono de reducción

La función del cono de reducción es recibir un volumen grande de aire de baja velocidad y reducirlo a un volumen pequeño de aire de alta velocidad sin turbulencias.

### Difusor

Una vez que el aire ha salido de la cámara de ensayos, el difusor reduce la velocidad del flujo mediante su perfil divergente. Es importante que el aire salga a la menor velocidad posible ya que ésta se relaciona directamente con las pérdidas energéticas del túnel: a menor velocidad, menores pérdidas.



## Ventilador

La función del ventilador es crear un flujo de aire a una velocidad uniforme.

## Compuerta de regulación de velocidad

La compuerta de regulación de velocidad permite el control de la velocidad del viento en la sección de prueba; la regulación del flujo interno se realiza por medio de estrangulamiento al abrir y cerrar la compuerta que, en este caso, es circular y se encuentra al final de la salida del túnel. La compuerta se opera de forma manual con una manivela ubicada en la parte superior.

## Interruptores de control de lámpara y ventilador

Los diferentes interruptores deben de encenderse cuando se realice la prueba para visualizar el efecto del viento correctamente y para crear un flujo uniforme de aire.

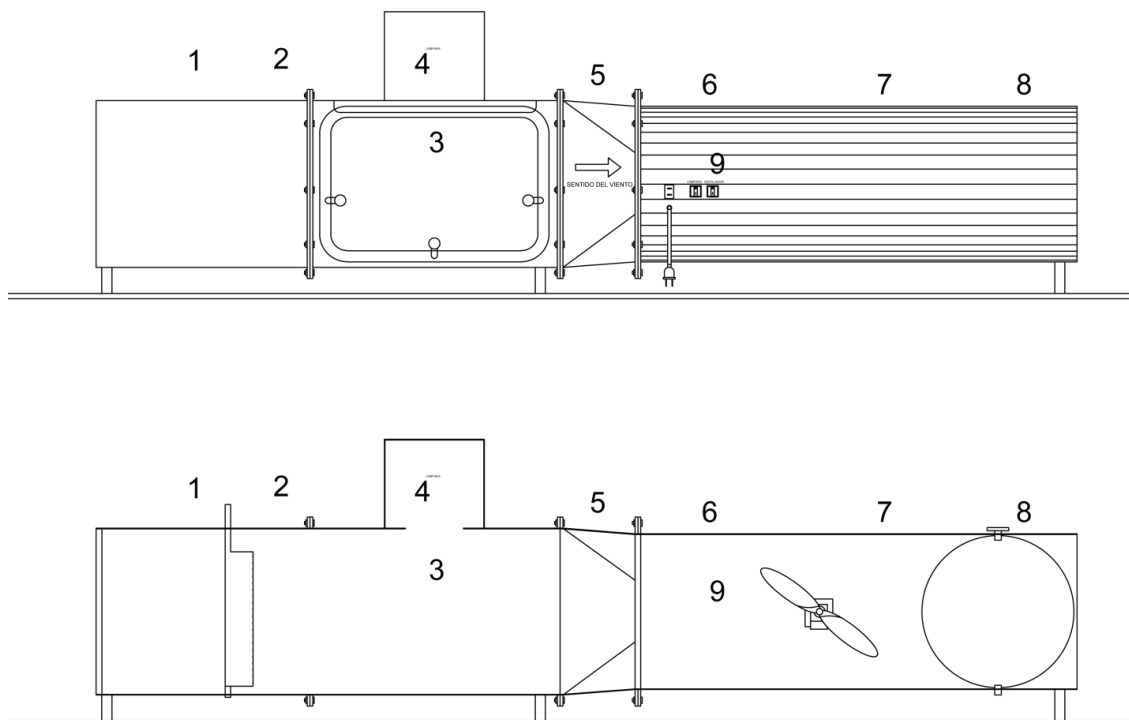


Figura V.5 . Vista frontal y sección longitudinal de túnel de viento

## Mecanismo de inyección de humo

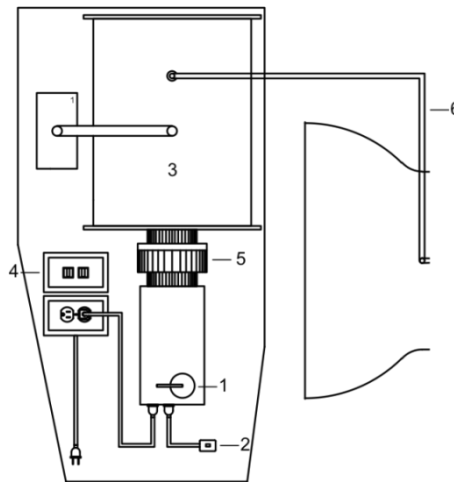


Figura V.6. Mecanismo de inyección de humo.

1. **Contenedor de parafina**, cuya función es almacenar la parafina para posteriormente iniciar el proceso de generación de humo.
2. **Interruptor de inyección de humo**, cuya función es iniciar el proceso de inyección de parafina a la cámara de inyección de humo.
3. **Cámara de inyección de humo o neblina**, en la que se contiene un volumen determinado de humo.
4. **Interruptores**, cuya función es conducir la energía eléctrica al motor de inyección de aire.
5. **Motor de inyección de aire**, cuya función es inyectar aire al interior de la cámara de humo para conducirlo a la cámara de abastecimiento.
6. **Conductor de humo**, que es una manguera por la cual se guía el humo al túnel de viento.



## Funcionamiento

1.- El primer paso es verificar que se encuentren alimentados de energía eléctrica cada uno de los dispositivos.



**Figura V.7. Mecanismo de inyección de humo actual**

2.- Después, se debe corroborar que las conexiones de las mangueras se encuentren correctamente acopladas.



**Figura V.8. Vista frontal de túnel de viento.**

3.- Posteriormente hay que encender la cámara de humo y verificar que el contenedor tenga parafina. Una vez realizado este pasó, se debe esperar a que termine de calentarse la resistencia interna, modo que permita la generación de humo.



**Figura V.9. Contenedor de parafina en la cámara de humo y líquido de parafina.**

4.- Una vez que lo anterior está listo, se presiona el interruptor que controla la cámara de humo, para que pase al contenedor y de ahí se inyecte por medio de un motor a las conexiones del túnel.



**Figura V.10. Interruptor de control de la cámara de humo.**

5.- El humo, que pasa a través de las conexiones hacia el peine interno del túnel, saldrá de forma automática a lo largo del mismo.



**Figura V.11. Peine de humo.**

6.- En este punto es cuando hay que encender la lámpara para poder ver las líneas de humo que pasan a lo largo del túnel. Asimismo, hay que activar el ventilador para que se genere la succión necesaria y que el humo pueda ser dirigido de forma lineal.



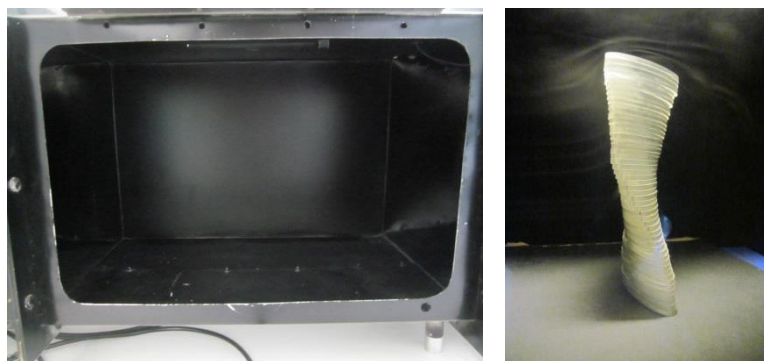
**Figura V.12. Controladores del túnel.**

7.- La regulación de la velocidad del flujo del aire interior se hace mediante la compuerta giratoria que se encuentra al final del túnel para lograr estabilizar las líneas de humo de forma laminar.



**Figura V.13. Compuerta de regulación de flujo.**

8.- Una vez listos y verificados cada uno de los elementos anteriores, podemos hacer los análisis necesarios en el túnel de viento.



**Figura V.14. Cámara de ensayos.**

## **Técnica de visualización**

La visualización del flujo es el entendimiento visual de las características del campo de flujo de las superficies donde impacta el viento. La visualización se realiza con líneas de corriente, líneas de trayectoria, líneas de traza y líneas fluidas, que son las técnicas de visualización más empleadas en los túneles de viento. El flujo se define como cualquier fluido que se encuentra en movimiento, ya sea agua, arena o gasolina pero, en nuestro caso, utilizaremos siempre aire. Este aire tiene características variables físicas, que son la temperatura, la presión y la densidad. Centrándonos en el aspecto aerodinámico, vemos que en el aire hay moléculas que están en movimiento y que irán más o menos rápidas dependiendo de la velocidad.

### **Conceptos de descripción de flujo de fluido**

- 1.- Línea de corriente: tangente al vector velocidad.
- 2.- Senda: trayectoria que adopta una partícula.
- 3.- Línea de traza: punto determinado en el espacio en donde las partículas se han desplazado.
- 4.- Línea fluida: conjunto de partículas unidas a una trayectoria común.

Existen flujos estacionarios en donde las propiedades dinámicas y cinemáticas del flujo permanecen inamovibles. En arquitectura, generalmente se presenta este tipo de flujo y, en este caso, las líneas de corriente, sendas y líneas de traza son coincidentes.

La visualización se realiza con líneas de corriente, líneas de trayectoria, líneas de traza y líneas fluidas, que son las técnicas de visualización más empleadas en los túneles de viento.

Si pudiéramos ver esas moléculas, veríamos que cada una lleva una trayectoria definida y el conjunto de esas trayectorias es a lo que se le llama “líneas de corriente”. Por tanto, una línea de corriente es una línea continua trazada a través de

un fluido que nos indica la dirección que lleva el fluido en movimiento en cada punto del fluido.

El flujo de aire es generado por una cámara de inyección para obtener un flujo de escasa turbulencia, en el que el aire fluya a través de una cámara de ensayos o pruebas. A través de varias salidas, se agrega niebla al flujo de aire; así, el aire fluye alrededor o a través de un modelo colocado en el tramo de ensayos y el campo de líneas de flujo se hace visible. El tramo de ensayo está provisto de un fondo negro y una luna de vidrio transparente; las líneas de flujo son claramente visibles gracias a una iluminación adicional.

Hay varios métodos para hacer visible el aire, aunque los más utilizados son el humo, las partículas en suspensión y colocar hilos en la superficie del modelo. A veces hay comportamientos del aire, como es el caso de los vórtices, que son difíciles de apreciar por el ojo del ser humano.



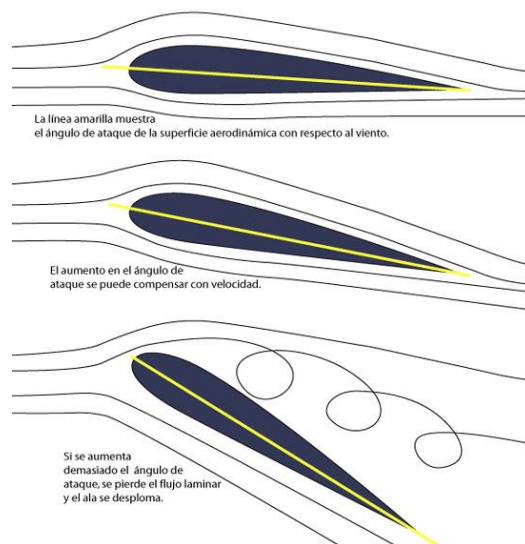
Figura V.15. Ejemplo de líneas de corriente en un automóvil. ( Díaz Olmo, 2012).

Cuando un coche acelera subiendo y bajando una colina y frena para tomar una curva complicada, el flujo de aire alrededor del mismo no se mantiene estable y se desvincula del vehículo. Esta separación aerodinámica crea un arrastre adicional que frena el coche y fuerza al motor a trabajar más.

El mismo fenómeno afecta a los rascacielos, aeronaves, botes, submarinos e, incluso, a las pelotas de golf. Para reducir los arrastres nos interesa ver por dónde

circulan los flujos, qué caminos trazan y de qué forma. Además, a través de ellas podemos determinar si el flujo es laminar o es turbulento y también si está adherido a la superficie o no (capa límite).

Un fluido puede ser de distintos tipos dependiendo de lo “ordenadas” que vayan las moléculas. Por ejemplo, no es lo mismo que todas las moléculas vayan unidas, bien ordenadas y todas a la misma velocidad y dirección, a que cada una vaya a su aire, nunca mejor dicho, con direcciones aleatorias y velocidades distintas. Así, tendremos dos tipos de flujos: el laminar (cuando sus partículas se mueven a lo largo de trayectorias de forma suave, en láminas o capas, de manera que una capa se desliza suavemente sobre otra capa adyacente) y el turbulento cuando sus partículas se mueven en trayectorias muy irregulares que causan colisiones entre las partículas, produciéndose un importante intercambio de cantidad de movimiento entre ellas que traen como consecuencia la pérdida de energía en todo el flujo). Por tanto, si tenemos un fluido con baja viscosidad, alta velocidad y de gran extensión, moviéndose con un flujo laminar, éste se convertirá muy rápidamente en un flujo turbulento.



**Figura V.16. Perfil de un ala de avión y comportamiento ante el viento. ( Díaz Olmo, 2012).**

Cuando un objeto se sitúa dentro de un flujo, el aire empieza a circular sobre su superficie hasta sobrepásalo. En el caso de ser un flujo laminar, todas las moléculas pasarán por el objeto sin alterar su comportamiento con respecto al grupo, es decir,



la circulación del grupo seguirá siendo en grupo, puede que cambie o no de dirección el flujo, pero siempre lo hará de forma ordenada, eso sí, disminuyendo su efecto a medida que nos alejemos del objeto. ( Díaz Olmo, 2012).

Las líneas de flujo se dejan visualizar en el túnel de viento con ayuda de niebla, humo o hilos. De esta manera se muestra muy ilustrativamente un campo de flujo momentáneo, así como zonas de flujo turbulento.

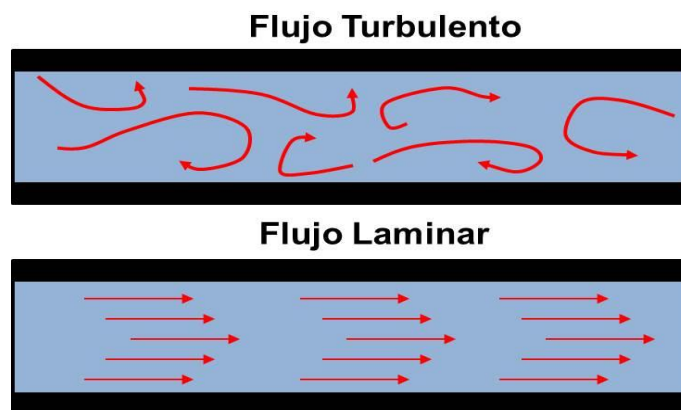


Figura V.17. Flujos turbulento y laminar.

## Métodos de visualización

Existen diversos métodos para llevar a cabo la visualización. Algunos de los más comunes son líneas de humo y partículas que describiré más adelante.

Para seleccionar un método de visualización es necesario contemplar los siguientes aspectos:

- 1.- Grado de turbulencia del flujo: la visualización será fácil si el flujo es laminar. Si se presenta un alto grado de turbulencia la identificación de las líneas de corriente será difícil.
- 2.- Tiempo de observación: si el tiempo de observación es prolongado y no existe renovación de aire adecuada, la visualización será complicada.

3.- Método de observación (visual o fotográfica): es necesario que el área de visualización esté provista de iluminación adecuada, aún más cuando se utiliza un medio electrónico.

## **Métodos**

### **Visualización de flujo por medio de hilos colocados en la superficie:**

Consiste en la colocación de pequeños hilos en el área de visualización, preferentemente cerca de la superficie. Éstos pueden ser de seda, nylon y algodón, entre otros.

### **Visualización por medio de inyección de humo:**

Consiste en observar las líneas de corriente que arroja la máquina de humo. Pueden darse, además, diferentes tipos de orientación del modelo en la cámara de ensayos:

#### **a.- Modelo volumétrico**

##### **1.- Alzado o frontal**

Consiste en colocar el modelo u objeto en posición vertical para conocer la influencia del viento que repercute especialmente en el diseño de cubierta.

##### **2.- Vista superior**

El modelo u objeto es colocado en vista superior o planta para conocer la incidencia del viento directamente sobre sus muros y la geometría de la envolvente.



## b.- Visualización interior

Para conocer el comportamiento del viento al interior de las edificaciones es necesario elaborar el modelo en acetato o acrílico cuidando las uniones.

La orientación de los modelos dentro de la cámara será determinada por la dirección del viento dominante de acuerdo a los análisis climatológicos realizados en cada caso específico.

### **Resultados de la visualización**

A través del estudio del comportamiento de las líneas de corriente, es posible obtener los siguientes parámetros:

- 1.- Identificación de zonas de desprendimiento de flujo.
- 2.- Identificación de zonas de flujo turbulento.
- 3.- Identificación de las zonas de variación de velocidad local.
- 4.- Identificación de puntos de estancamiento de aire.
- 5.- Visualización de flujo en capa límite.
- 6.- Identificación de corrientes de convección.

### **La Dinámica de Fluidos Computacional como herramienta de evaluación**

La Dinámica de Fluidos Computacional, o CFD por sus siglas en inglés, es una de las ramas de la mecánica de fluidos que utiliza métodos numéricos y algoritmos para resolver y analizar problemas de simulación numérica sobre el flujo de sustancias.

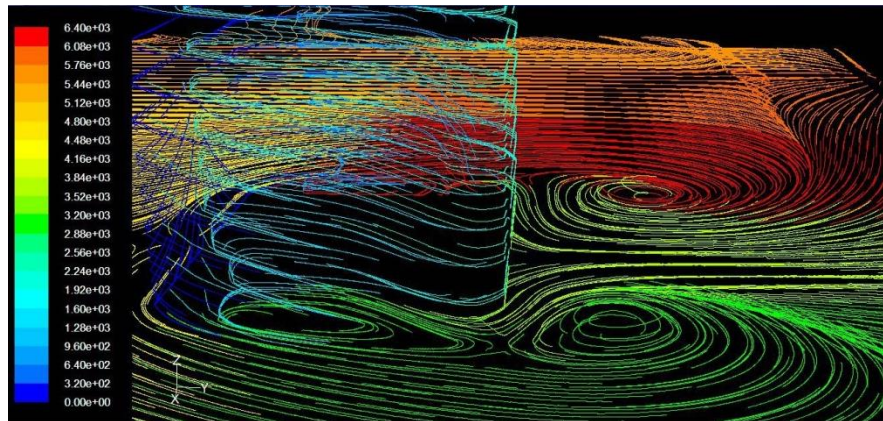
Mediante equipos de cómputo especializados, podemos realizar millones de cálculos requeridos para simular la interacción de los líquidos y los gases con superficies complejas proyectadas por la arquitectura. La verificación de los datos obtenidos por CFD suele ser realizada en túneles de viento u otros modelos físicos a escala.



El estudio aerodinámico se divide en dos grupos, el estudio teórico puro y el estudio experimental puro. La dinámica de fluido computacional es lo más próximo a las dos formas de hacer un estudio y evaluación aerodinámica.

### **Pasos elementales para el análisis de CFD**

En el proceso de evaluación de elementos bajo CFD se presentan varias necesidades para poder inferir resultados óptimos de los cálculos. Son tres los pasos elementales, el pre-procesamiento, el procesamiento y el post-procesamiento. Estos pasos son indispensables, sin embargo, lo más importante es la interpretación de la información generada por este tipo de técnica.



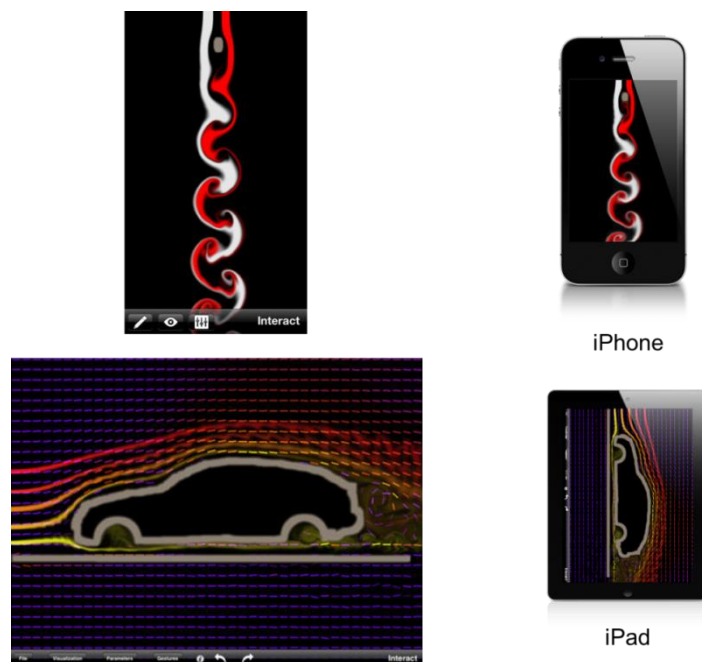
**Figura V.18. Distribución de viento en la base de un edificio. (Morales Cruz, 2013)**

La técnica CFD contiene amplias capacidades de modelado, necesarias para modelar el flujo, la turbulencia y la transferencia de calor, además de las reacciones para aplicaciones industriales que van desde el flujo de aire sobre un ala de avión hasta la combustión en un horno a partir de columnas de burbujas de las plataformas de petróleo; desde el flujo de sangre hasta semiconductores de fabricación y de diseño de la sala limpia de plantas de tratamiento de aguas residuales. Existen modelos especiales que le dan al software la capacidad de modelar la combustión en el cilindro, la aeroacústica, la turbomaquinaria y los sistemas multifásicos, entre otros elementos.

La herramienta de análisis numérico puede ser comparada con los resultados experimentales mediante el uso de modelos físicos a escala, que es un modo de validar y corroborar el óptimo funcionamiento de los mismos. Así, se puede medir satisfactoriamente la precisión del modelo en un sentido tanto cualitativo como cuantitativo. (Velázquez Soto, 2013).

### **Técnica de visualización de humo en 2D<sup>33</sup> por dispositivos iOS<sup>34</sup>**

La tecnología, a través de sus avances, nos ha permitido tener acceso a una gran variedad de herramientas para diferentes campos de aplicación, como lo es el caso de la aplicación llamada “Wind Tunnel”, un software para dispositivos iOS que convierte a los llamados “smartphone” y tabletas (iPad)<sup>35</sup> en simuladores de túneles de viento.



**Figura V.19. Capturas de pantalla de visualización de viento en dispositivos smartphone iOS (iPhone y iPad)**

<sup>33</sup> 2D.bidimensional es algo que tiene dos dimensiones, por ejemplo, ancho y largo, pero no profundidad.

<sup>34</sup> iOS es un sistema operativo móvil de la empresa Apple Inc.

<sup>35</sup> Teléfono inteligente (smartphone en inglés) es un teléfono móvil construido sobre una plataforma informática móvil, con una mayor capacidad de almacenar datos y realizar actividades semejantes a una minicomputadora y conectividad que un teléfono móvil convencional. El término «inteligente» hace referencia a la capacidad de usarse como un ordenador de bolsillo, llegando incluso a reemplazar a un ordenador personal en algunos casos. El término “teléfono inteligente” (o smartphone en inglés) es un término meramente comercial, ya que los teléfonos no piensan ni razonan como los humanos.

La aplicación de túnel de viento simula la dinámica de fluidos asumiendo un fluido incompresible y homogéneo con las ecuaciones de Navier Stokes<sup>36</sup>. La aplicación está diseñada en primer lugar para proporcionar una simulación interactiva y está impulsada por un motor altamente optimizado. El campo de velocidad de la aplicación se resuelve en una cuadrícula de 120 x 180 en la mayoría de los dispositivos. Esto requiere una gran cantidad de potencia de cálculo, sobre todo para mantener una alta velocidad de cuadro de 30 fps<sup>37</sup>. Para satisfacer esas necesidades, se ha desarrollado un motor de simulación altamente optimizado, capaz de aprovechar la mayor parte de la potencia de procesamiento disponible, tanto en la CPU<sup>38</sup> como en la GPU<sup>39</sup>.

### **La lista completa de características incluye:**

- Permitir cuatro acciones: interactuar con el fluido, dibujar obstáculos (líneas libres o rectas), extraer las fuentes de humo e interface editable.
- Modos de visualización: partículas (racionaliza streaklines y aleatorios), humo de colores (rayas predefinidas, racionalizadas y básicas), campo de presión y la visualización normal de velocidad, turbulencias y campo de velocidades (esto es, visualizar la dirección de la velocidad).

---

<sup>36</sup> Las ecuaciones de Navier-Stokes reciben su nombre de Claude-Louis Navier y George Gabriel Stokes. Se trata de un conjunto de ecuaciones en derivadas parciales no lineales que describen el movimiento de un fluido. Estas ecuaciones gobiernan la atmósfera terrestre, las corrientes oceánicas y el flujo alrededor de vehículos o proyectiles y, en general, cualquier fenómeno en el que se involucren fluidos newtonianos.

<sup>37</sup> Las imágenes por segundo (fotogramas por segundo o cuadros por segundo, en inglés frames per second o FPS) es la medida de la frecuencia a la cual un reproductor de imágenes genera distintos fotogramas (frames). En informática estos fotogramas están constituidos por un número determinado de píxeles que se distribuyen a lo largo de una red de texturas. La frecuencia de los fotogramas es proporcional al número de píxeles que deben generarse, incidiendo en el rendimiento del ordenador que los reproduce.

<sup>38</sup> La Unidad Central de Procesamiento (del inglés: Central Processing Unit, CPU) o procesador, es el componente principal del ordenador y otros dispositivos programables, que interpreta las instrucciones contenidas en los programas y procesa los datos.

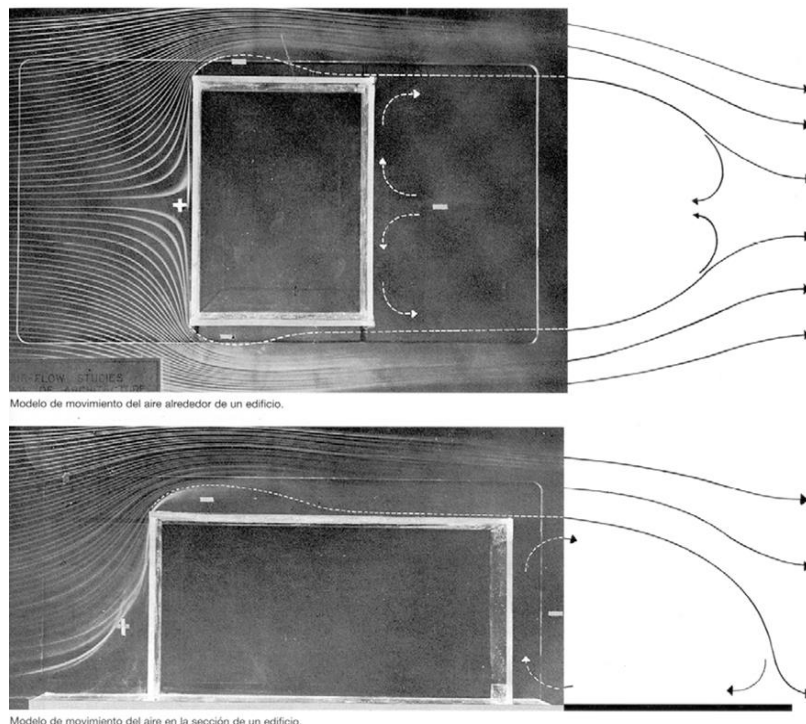
<sup>39</sup> La unidad de procesamiento gráfico o GPU (acrónimo del inglés graphics processing unit) es un coprocesador dedicado al procesamiento de gráficos u operaciones de coma flotante, para aligerar la carga de trabajo del procesador central en aplicaciones como los videojuegos y o aplicaciones 3D interactivas. De esta forma, mientras gran parte de lo relacionado con los gráficos se procesa en la GPU, la unidad central de procesamiento (CPU) puede dedicarse a otro tipo de cálculos (como la inteligencia artificial o los cálculos mecánicos en el caso de los videojuegos).

- Cargar archivos / guardar escenas, es decir, la transferencia de archivos por correo electrónico y la importación de archivos PNG.
- Manipulación de los objetos (rotar / movimiento).
- Ajustar los parámetros físicos como la viscosidad del fluido, la fricción del obstáculo y la velocidad de entrada del túnel de viento.

El movimiento del fluido se calcula mediante la resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes, en alta definición (19.000 celdas de la cuadrícula en el iPad) gracias al código optimizado que toma el máximo provecho del rendimiento de la CPU.

Las imágenes que se presentan a continuación muestran el ejemplo de comparación de análisis de viento en un túnel de viento real y otro realizado en Wind Tunnel App.

La imagen 20 muestra un edificio en planta y en corte; el análisis se hizo en un túnel de viento con la técnica de humo y en él se logra observar la distribución del humo a lo largo del edificio y su comportamiento alrededor de las paredes.



**Figura V.20. Análisis de viento alrededor de un edificio en túnel de viento. (Olgyay, 1998)**



La imagen 21 muestra el mismo caso de análisis, sólo que éste se realizó en la aplicación de Wind Tunnel antes mencionada. Los elementos son los mismos: se presenta un edificio en planta y en corte. También el comportamiento del viento es el mismo, incluso más detallado, con lo que se valida el funcionamiento de la aplicación.

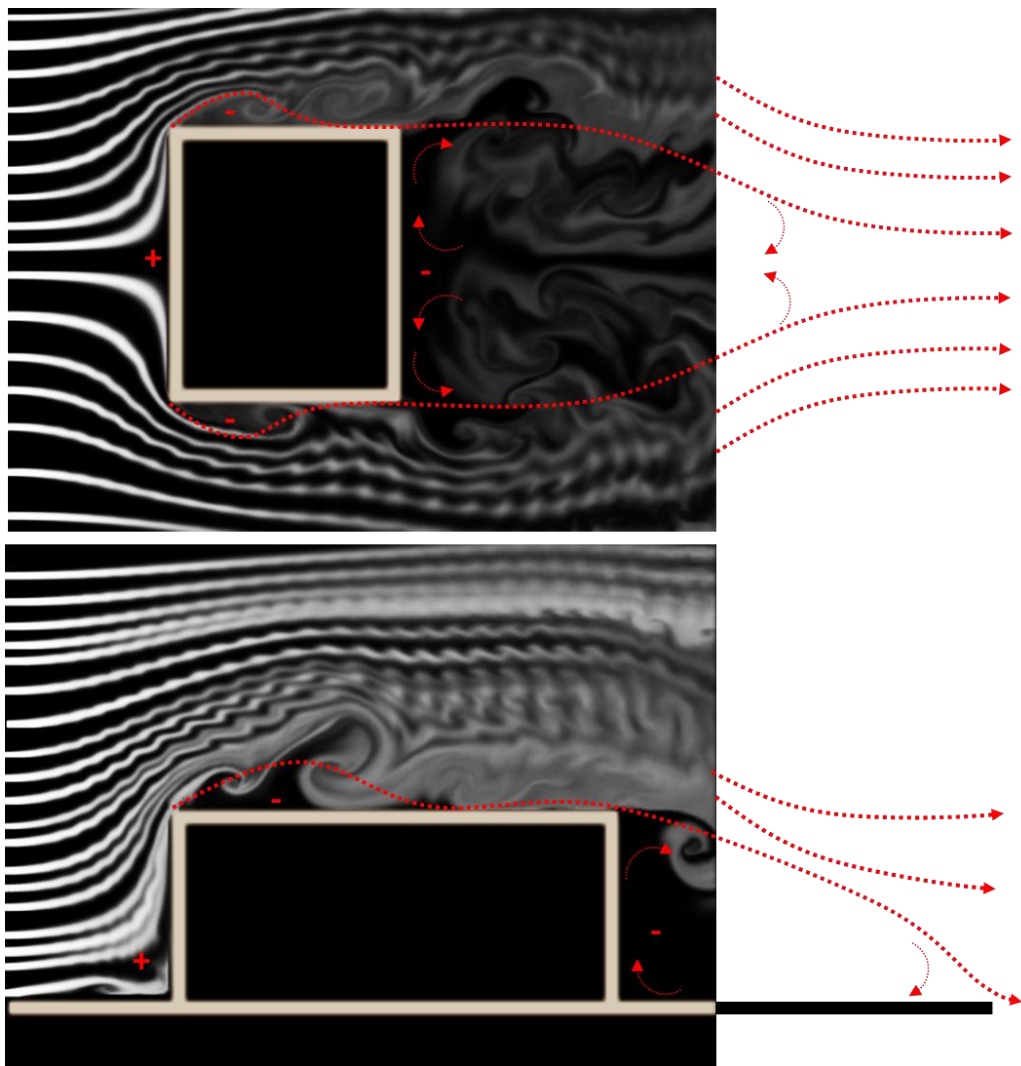


Figura V.21. Análisis de viento alrededor de un edificio en Wind Tunnel App. (Morales Cruz, 2014)

## **Modelos a escala**

Los modelos a escala son de acrílico traslucido en una escala de 1:100. Para poder hacer los análisis en el túnel de viento, los modelos tienen la característica de estar simplificados en figuras puras, con las dimensiones lineales de los casos de estudio con el fin de facilitar el análisis del viento.

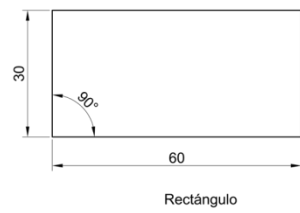
Los modelos a escala son empleados por su bajo costo, ya que es mucho más práctico que construir los modelos de análisis a escala real. Para que los modelos permitan un análisis lo más próximo a las condiciones reales, se deben de escalar acorde a un criterio de semejanza.

Existen tres niveles de semejanza que se deben completar antes de establecer que un modelo a escala es semejante al objeto real. Estos son: semejanza geométrica, cinemática y dinámica.

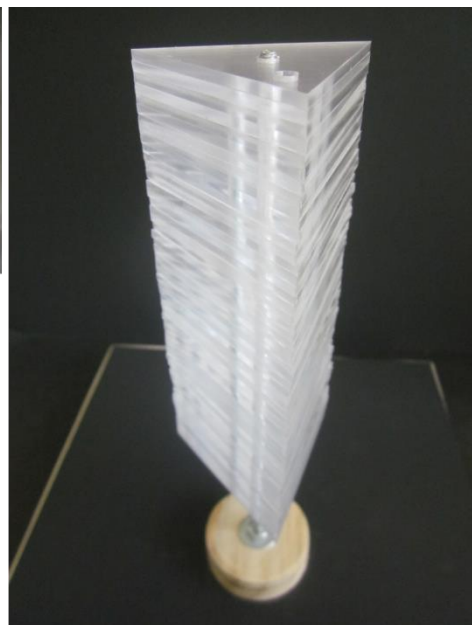
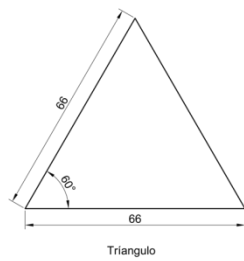
La semejanza geométrica es la igualdad de medidas longitudinales y de escala entre los elementos a analizar para su evaluación en condiciones de impacto de viento.

La semejanza cinemática es la igualdad entre los puntos de impacto de dos flujos. Cuando la velocidad y la dirección de los flujos están equilibradas en una escala constante, se tiene una semejanza cinemática.

La semejanza dinámica es la igualdad entre la semejanza geométrica y la semejanza cinemática de dos flujos y para tener una semejanza dinámica se deben tener en cuenta todas las fuerzas que actúan sobre el edificio real y que, en el modelo a escala, se conserven esos mismos efectos sobre los campos de flujo. (Velázquez Soto, 2013)

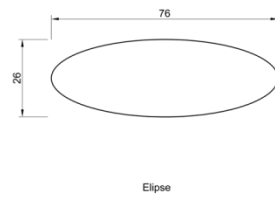


**Figura V.22. Modelo a escala Rectángulo.**

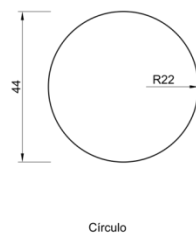


**Figura V.23. Modelo a escala Triángulo.**





**Figura V.24. Modelo a escala Elipse.**



**Figura V.25. Modelo a escala Círculo.**

# Capítulo VI.

## ANÁLISIS Y RESULTADOS DEL IMPACTO DE VIENTO

En el presente capítulo abordaré los resultados de los diferentes experimentos de los modelos a escala 1:100 que se analizaron en el túnel aerodinámico de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, así como el comportamiento exterior del viento en diferentes técnicas de visualización sobre los modelos a escala, para poder determinar los flujos de eficiencia que impactan en las diferentes figuras.



## **Análisis de la visualización del humo del flujo de aire**

Para el análisis de los modelos, éstos se construyeron a escala 1:100, en acrílico transparente, y cumplieron las condiciones de semejanza geométrica y de semejanza cinemática dado que mantenían las mismas características en relación a la orientación de los prototipos; sin embargo, en todos los casos se van a analizar las diferentes orientaciones con el fin de verificar el efecto del flujo en las paredes de los casos de estudio, y poder determinar las tendencias resultantes de los “RASCACIELOS: APLICACIÓN METODOLÓGICA” del capítulo IV. Como resultado, obtendremos cuatro tendencias que también se van a analizar y a evaluar.

Los experimentos se realizaron en el turno vespertino y nocturno con el fin de optimizar el funcionamiento del sistema y asegurar que el flujo del aire no tuviese turbulencias en las pruebas experimentales. También para verificar el adecuado funcionamiento de cada uno de los elementos del túnel de viento

La experimentación y la evaluación de la visualización del viento en los diferentes modelos del caso de estudio, son en primer lugar la presentación de los cuatro modelos físicos a escala para el análisis del viento, que se encuentran sobre una base giratoria adaptada al espacio de la cámara de ensayos del túnel aerodinámico.

En las figuras siguientes se muestran los distintos casos de estudio a escala 1:100 que ejemplifican un edificio, con una altura promedio de doscientos treinta metros y cincuenta y cinco pisos de altura; la superficie de todos ellos es variable.

Caso 1. Área de 1493 m<sup>2</sup>

Caso 2. Área de 1834 m<sup>2</sup>

Caso 3. Área de 1552 m<sup>2</sup>

Caso 4. Área de 1923 m<sup>2</sup>



### Caso 1. Prisma Cilíndrico.

En la figura 1 se muestra la conformación del modelo a escala de un prisma cilíndrico con un sistema giratorio dentro de la zona de pruebas del túnel de viento, que se analiza con la técnica de visualización de líneas de humo.

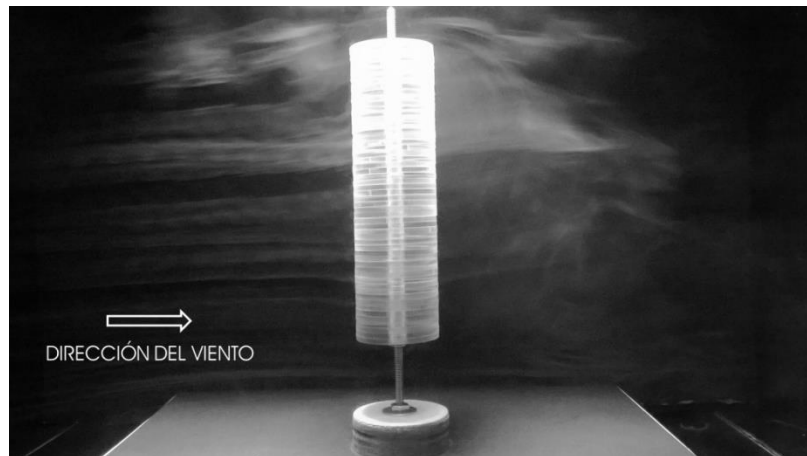


Figura VI.1. Vista frontal de prisma cilíndrico

En la interacción del flujo del viento con el modelo a escala, se nos presenta la dirección del flujo con un sentido de izquierda a derecha. El comportamiento del flujo en contacto con la superficie del modelo se da de forma ascendente-descendente y de forma continua y turbulenta, pues pasa a lo largo del modelo generando zonas de análisis frontal, superior e inferior.

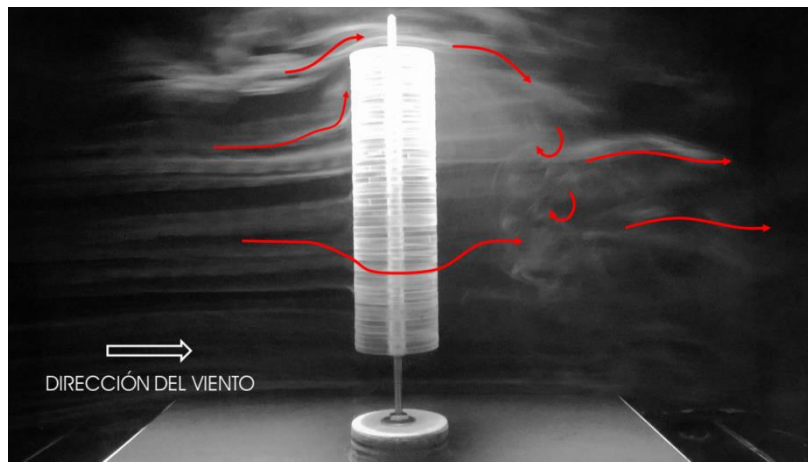


Figura VI.2. Vista superior de prisma cilíndrico.



La región frontal del modelo muestra el impacto del humo como una continuidad que rodea al modelo y pasa hacia la parte inferior del mismo generando una serie de remolinos y turbulencias que se desprenden de las paredes del cilindro.

La parte superior del modelo presenta un movimiento mucho más turbulento que, de forma ascendente, impacta generando vórtices y desciende hacia la parte inferior combinándose con una serie de turbulencias producidas por la continuidad del flujo.



**Figura VI.3. Comportamiento del viento prisma cilíndrico.**

Para todos los casos siguientes de análisis el viento pega contra el edificio, se crea una zona de presión alta en la cara frontal; el viento rodea al edificio y origina zonas de alta presión en las caras laterales y en la cara posterior.

Se observa que la interacción de las líneas de humo con el perfil del modelo adopta un movimiento de envolvente que circula a lo largo de la figura y, en su desplazamiento, se logra ver el desprendimiento de remolinos hacia la parte de sotavento.

## Caso 2. Prisma Triangular-Fachada larga.

En la figura 4 se muestra la conformación del modelo a escala de un prisma triangular con un sistema giratorio dentro de la zona de pruebas del túnel de viento, que se analiza con la técnica de visualización de líneas de humo.

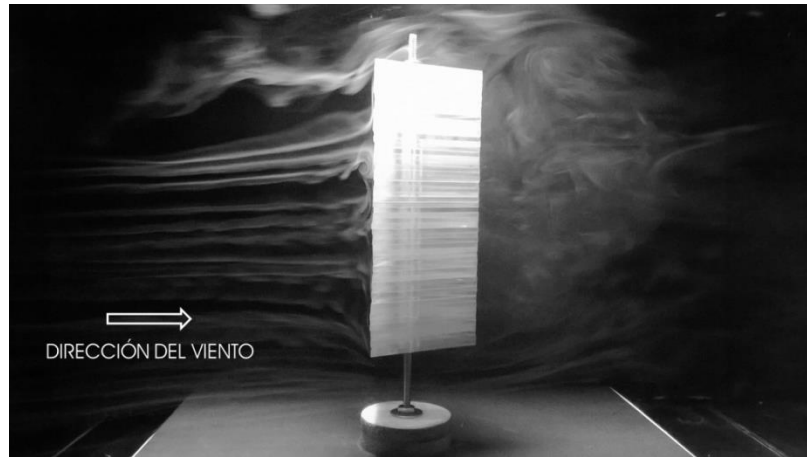


Figura VI.4. Vista frontal de prisma triangular.

En la interacción del flujo con el modelo a escala, se presenta la dirección del flujo con un sentido de izquierda a derecha. El comportamiento del flujo en contacto con la superficie del modelo se da de forma ascendente-descendente y con un grado de turbulenta mucho más notable, por estar orientado hacia la cara más amplia provocando vórtices que se desprenden lateralmente.

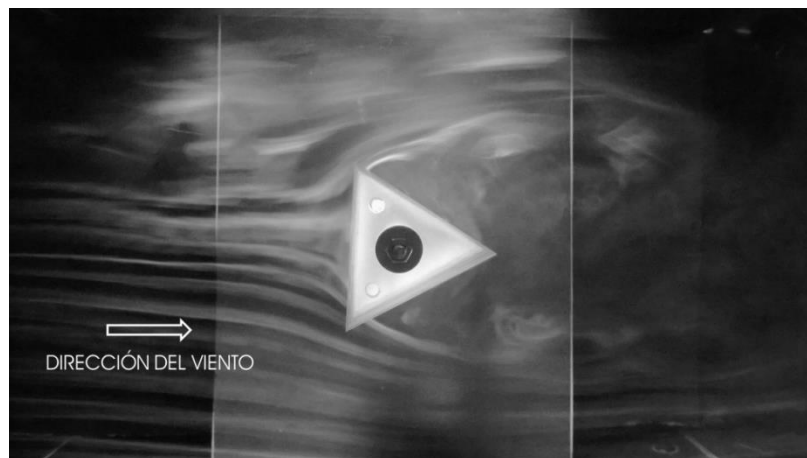
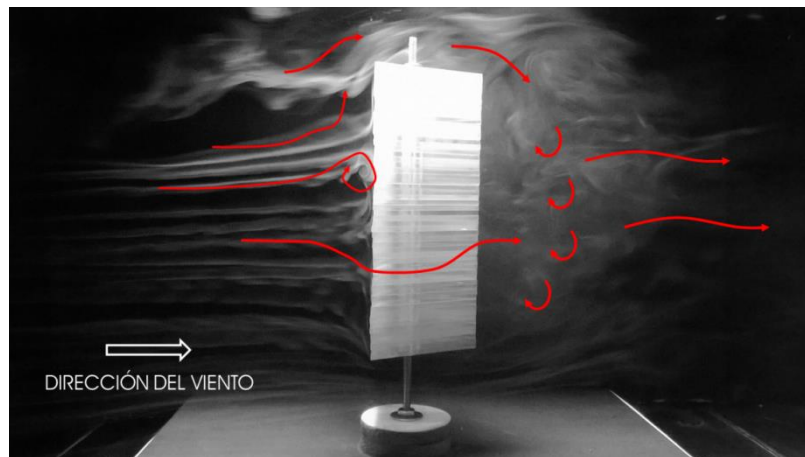


Figura VI.5. Vista superior de prisma triangular.

La región frontal del modelo muestra el impacto del humo y genera vórtices en la cara más ancha y larga del modelo. Después de dividirse hacia la parte superior y hacia los lados del modelo, pasa hacia la parte inferior del mismo, generando una serie de remolinos y turbulencias que se desprenden de las paredes con una intensidad mucho mayor.

La parte superior del modelo presenta un movimiento mucho más turbulento, el cual, de forma ascendente, impacta generando vórtices y desciende hacia la parte inferior combinándose con una serie de turbulencias producidas por la continuidad del flujo.



**Figura VI.6. Comportamiento del viento prisma triangular.**

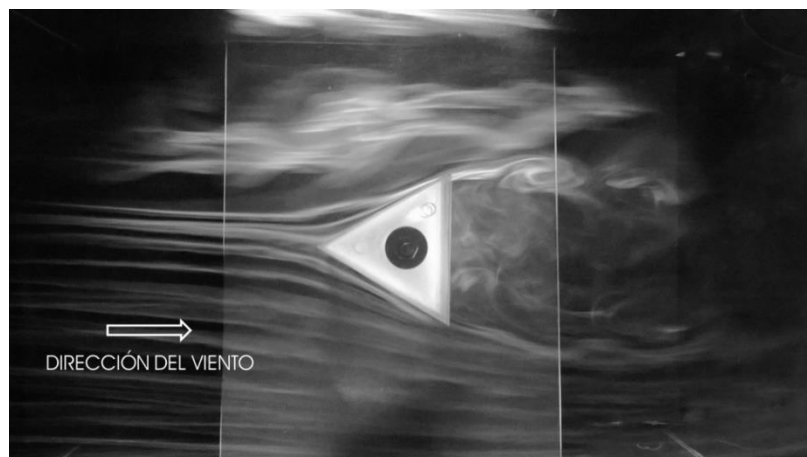
### **Caso 2.1. Prisma Triangular-Fachada corta.**

En la figura 7 se muestra la conformación del modelo a escala de un prisma triangular con un sistema giratorio dentro de la zona de pruebas del túnel de viento, en la cual se analiza el modelo con la técnica de visualización de líneas de humo.



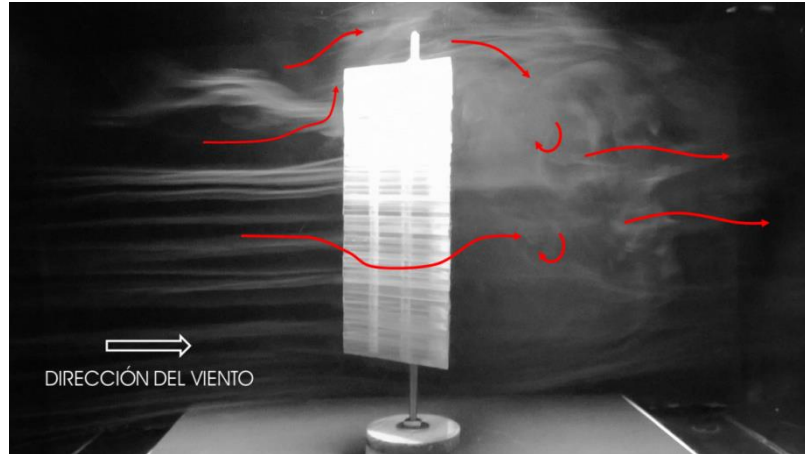
**Figura VI.7. Vista frontal de prisma triangular.**

En la interacción del flujo con el modelo a escala, se presenta la dirección del flujo con un sentido de izquierda a derecha. El comportamiento del flujo en contacto con la superficie del modelo se da de forma ascendente-descendente y con un grado de turbulenta mucho menos notable, debido a que está orientado hacia la cara más aguda, provocando vórtices que se desprenden hacia la parte posterior del modelo.



**Figura VI.8. Vista superior de prisma triangular.**

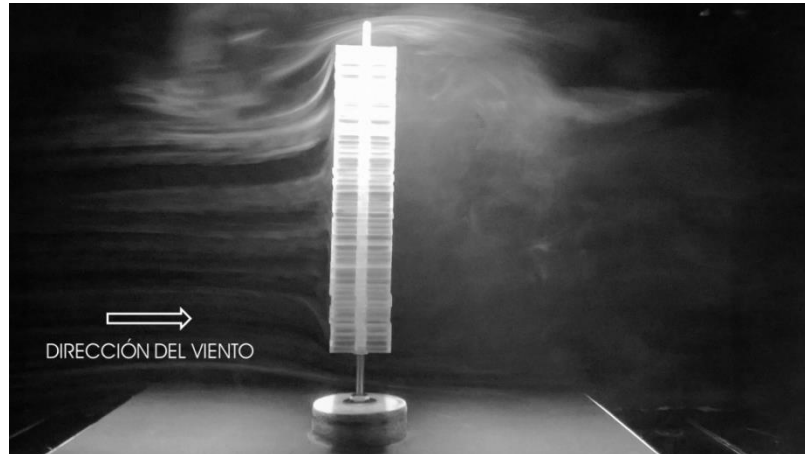
La región frontal del modelo muestra el impacto del humo y no genera vórtices, ya que divide el flujo de humo para continuar hacia la parte superior y hacia los lados del modelo y pasa hacia la parte inferior del modelo, generando una serie de remolinos y turbulencias que se desprenden de las paredes con una intensidad mucho mayor.



**Figura VI.9. Comportamiento del viento prisma triangular.**

### **Caso 3. Prisma Rectangular-Fachada larga.**

En la figura 10 se muestra la conformación del modelo a escala de un prisma rectangular con un sistema giratorio dentro de la zona de pruebas del túnel de viento, en la que se analiza con la técnica de visualización de líneas de humo.



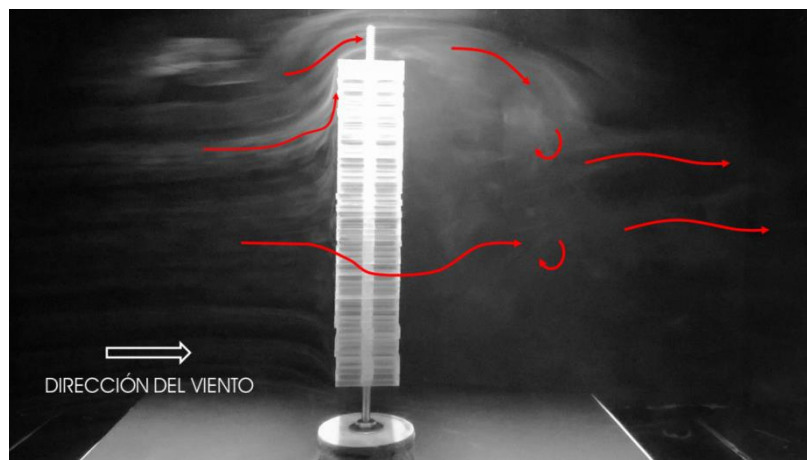
**Figura VI.10. Vista frontal de prisma rectangular.**

En la interacción del flujo con el modelo a escala, se presenta la dirección del flujo con un sentido de izquierda a derecha. El comportamiento del flujo en contacto con la superficie del modelo se da de forma ascendente-descendente y con un grado de turbulenta alto, por estar orientado hacia la cara más amplia, lo que provoca vórtices que se desprenden hacia la parte posterior del modelo.



**Figura VI.11. Vista superior de prisma rectangular**

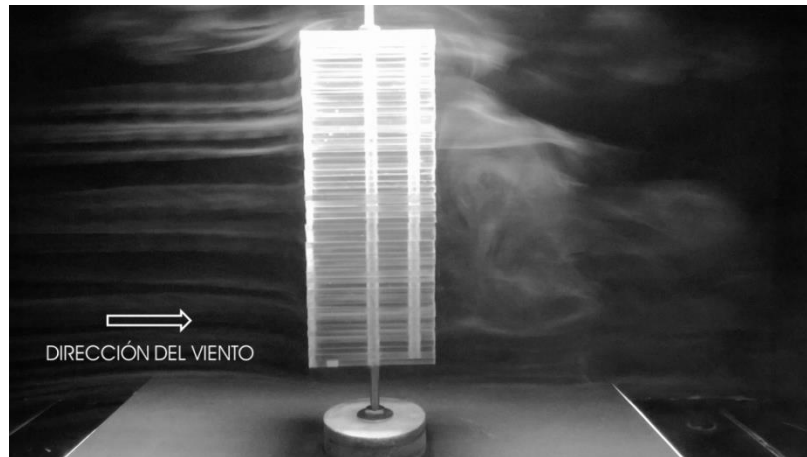
La región frontal del modelo muestra el impacto del humo, que por una parte asciende y, por otra, desciende hacia la parte superior y hacia los lados del modelo, pasando hacia la parte inferior de éste. Esto genera una serie de remolinos y turbulencias que se desprenden de las paredes con una intensidad muy alta.



**Figura VI.12. Comportamiento del viento prisma rectangular.**

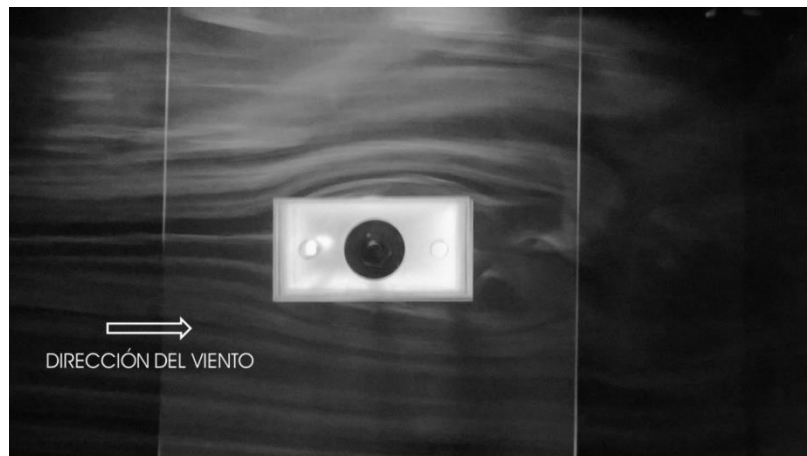
### **Caso 3.1. Prisma Rectangular-Fachada corta.**

En la figura 10 se muestra la conformación del modelo a escala de un prisma rectangular con un sistema giratorio dentro de la zona de pruebas del túnel de viento, en la que se analiza el modelo con la técnica de visualización de líneas de humo.



**Figura VI.13. Vista frontal de prisma rectangular.**

En la interacción del flujo con el modelo a escala, se presenta la dirección del flujo con un sentido de izquierda a derecha. El comportamiento del flujo en contacto con la superficie del modelo se da de forma ascendente-descendente y con un grado de turbulenta bajo debido a que está orientado hacia la cara más pequeña, provocando así vórtices de un nivel más bajo que se desprenden hacia la parte posterior del modelo.



**Figura VI.14. Vista superior de prisma rectangular**

La región frontal del modelo muestra el impacto del humo que de un lado asciende y, de otro, desciende hacia la parte superior y hacia los lados del modelo, pasando hacia la parte inferior del mismo y generando una serie de remolinos y turbulencias que se desprenden de las paredes con una intensidad alta.



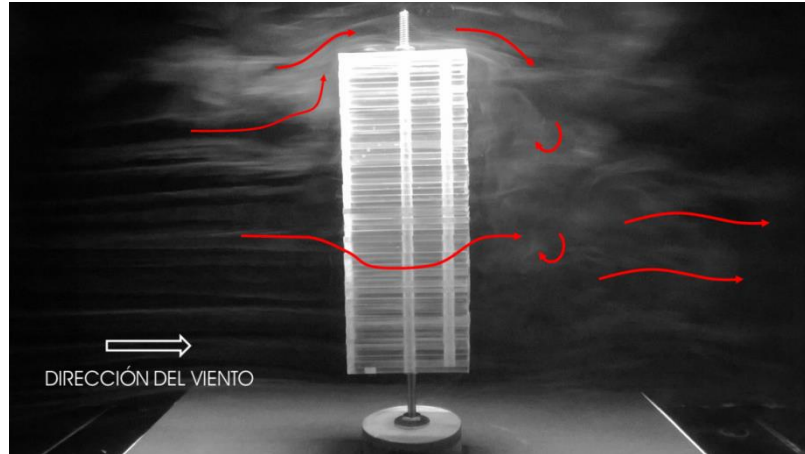


Figura VI.15. Comportamiento del viento prisma rectangular.

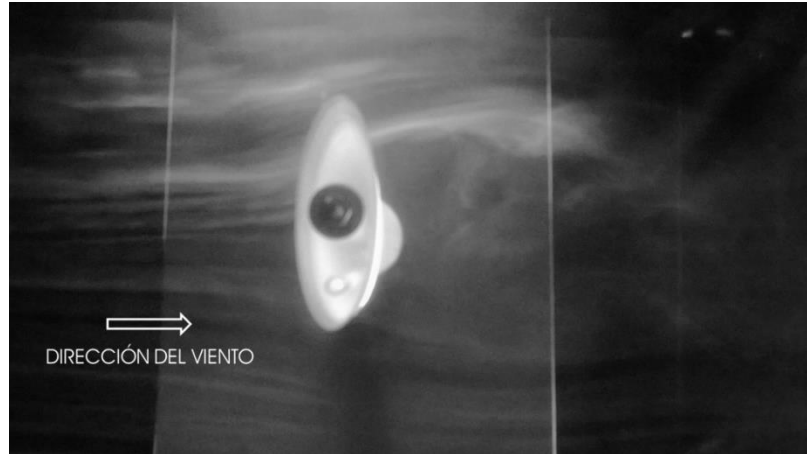
#### Caso 4. Prisma Elíptico-Fachada larga.

En la figura 16 se muestra la conformación del modelo a escala de un prisma elíptico con un sistema giratorio dentro de la zona de pruebas del túnel de viento, en donde aquél es analizado con la técnica de visualización de líneas de humo.



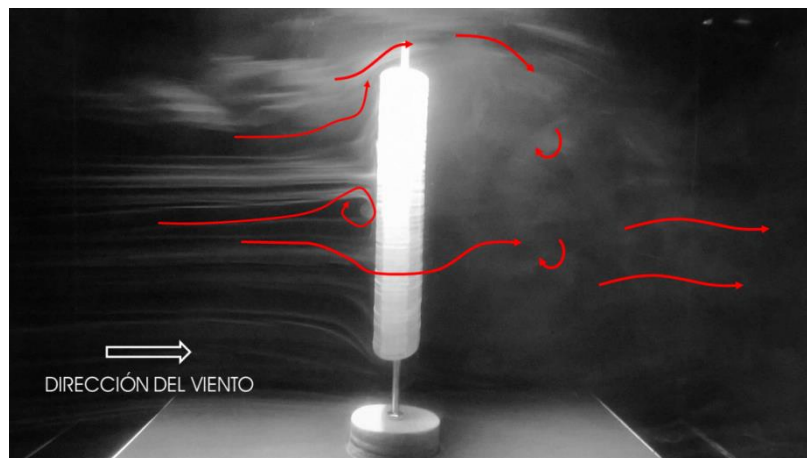
Figura VI.16. Vista frontal de prisma elíptico.

En la interacción del flujo con el modelo a escala, se presenta la dirección del flujo con un sentido de izquierda a derecha. El comportamiento del flujo en contacto con la superficie del modelo se da de forma ascendente-descendente y con un grado de turbulenta medio, por estar orientado hacia la cara más amplia, lo que provoca vórtices de un nivel más bajo que se desprenden hacia la parte posterior del modelo.



**Figura VI.17. Vista superior de prisma elíptico**

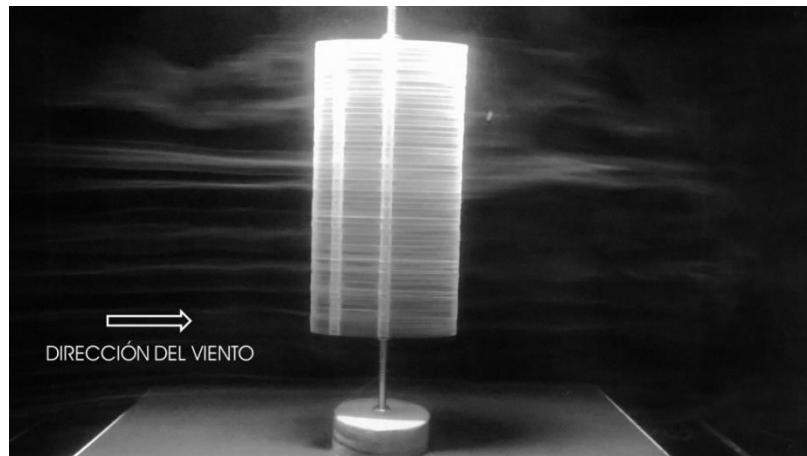
La región frontal del modelo muestra el impacto del humo, que por un aparte asciende y, por otra, desciende hacia la parte superior y hacia los lados del modelo, pasando hacia la parte inferior del modelo y generando una serie de remolinos y turbulencias que se desprenden de las paredes con una intensidad media.



**Figura VI.18. Comportamiento del viento prisma elíptico.**

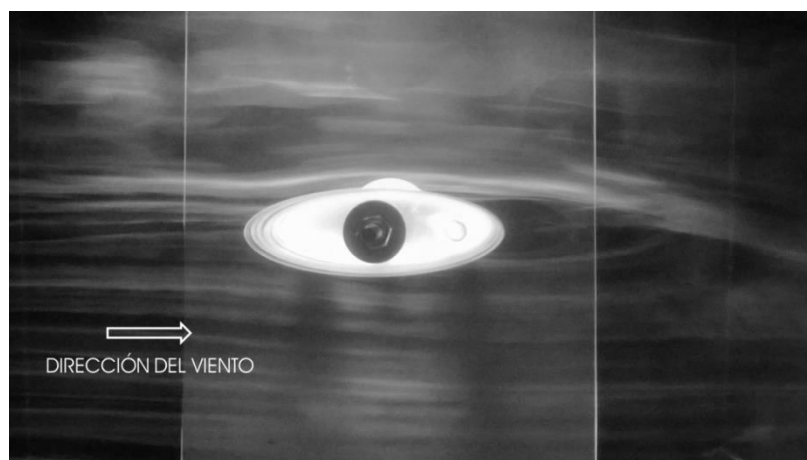
#### **Caso 4.1. Prisma Elíptico Rotado-Fachada corta.**

En la figura 19 se muestra la conformación del modelo a escala de un prisma elíptico con un sistema giratorio dentro de la zona de pruebas del túnel de viento, en la que aquél se analiza con la técnica de visualización de líneas de humo.



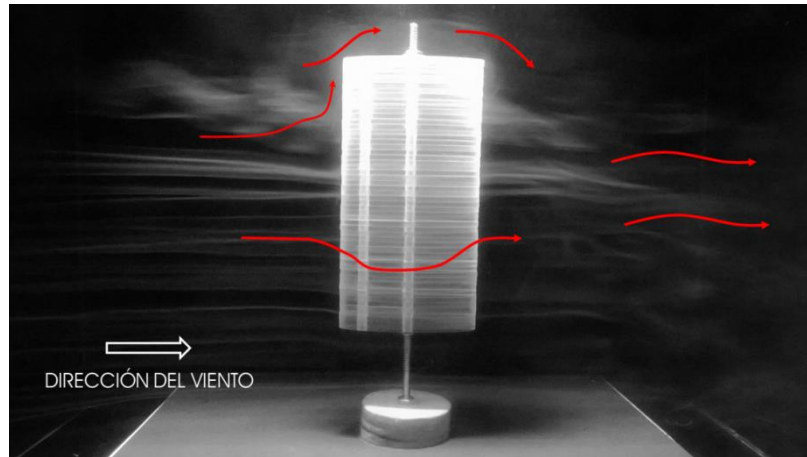
**Figura VI.19. Vista frontal de prisma elíptico.**

En la interacción del flujo con el modelo a escala, se presenta la dirección del flujo con un sentido de izquierda a derecha. El comportamiento del flujo en contacto con la superficie del modelo se da de forma ascendente-descendente y con un grado de turbulenta bajo ya que está, por estar orientado hacia la cara más pequeña, provocando así vórtices de un nivel más bajo que se desprenden hacia la parte posterior del modelo.



**Figura VI.20. Vista superior de prisma elíptico.**

La región frontal del modelo muestra el impacto del humo, el cual asciende de un lado y desciende de otro hacia la parte superior y hacia los lados del modelo, pasando hacia la parte inferior del modelo y generando una serie de remolinos y turbulencias que se desprenden de las paredes con una intensidad media.

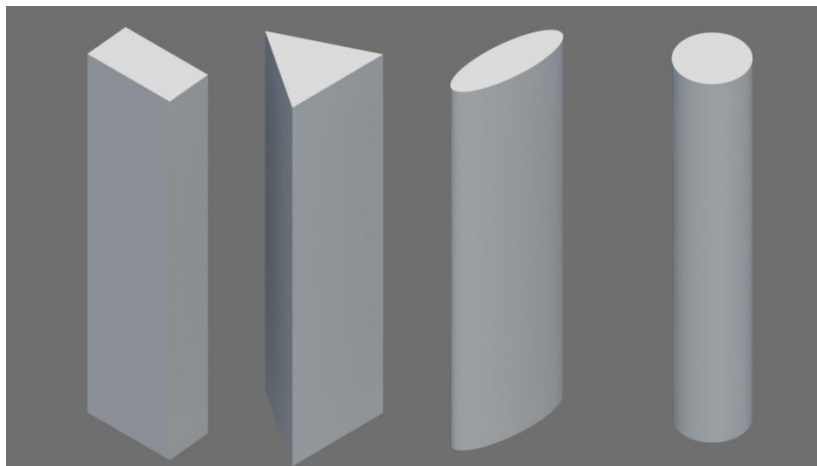


**Figura VI.21. Comportamiento del viento prisma elíptico.**

## Análisis del flujo con la técnica de CFD

Después de haber observado el comportamiento del flujo de aire en diferentes modelos a escala con la técnica de humo dentro del túnel aerodinámico, se pueden identificar los diferentes movimientos que presenta el viento.

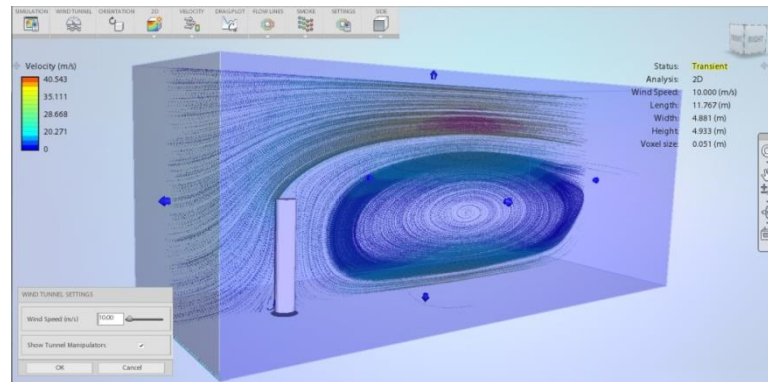
A continuación voy a presentar el análisis del viento en los diferentes casos con la técnica de visualización CFD, con una velocidad promedio de 10 km/s, establecida como una medida inicial para el experimento. Para el análisis de los modelos, éstos se realizaron a escala real 1:1, tridimensionales y que cumplieran con las condiciones de semejanza geométrica y de semejanza cinemática ya que mantenían las mismas características en relación a la orientación de los prototipos. Sin embargo, en todos los casos se analizan las diferentes orientaciones con el fin de verificar el efecto del flujo en las paredes de los casos de estudio y poder determinar las tendencias más óptimas para el diseño de rascacielos mucho más eficientes. En la figura 22 se muestran los modelos a escala real que serán analizados para la comparativa con respecto a los modelos físicos.



**Figura VI.22. Modelos tridimensionales para el análisis comparativo.**

## Caso 1. Prisma Cilíndrico.

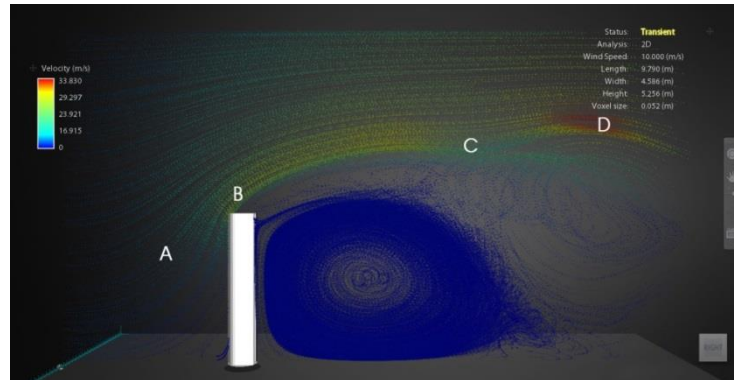
En la figura 23 se muestra el modelo tridimensional de un prisma cilíndrico que cumple con las mismas características que los modelos a escala analizados previamente en el túnel aerodinámico.



**Figura VI.23. Modelo tridimensional del análisis de un cilindro, dentro del entorno de análisis del software de volumen finito basado en CFD.**

El volumen de control para el análisis numérico se configuró con la misma estructura acorde a las distancias equivalentes del modelo tridimensional: se toma como referencia la altura total, la distancia es una vez la altura del modelo para las paredes laterales, la altura y la pared principal, y la distancia horizontal y posterior al modelo es de tres veces la altura, como se muestra en la figura 23.

En la figura 24 se puede observar la interacción del flujo sobre el edificio en forma de cilindro. A través de un volumen de control, se muestran recirculaciones en el flujo de aire de diferentes zonas, cuando el flujo choca con las paredes del modelo tridimensional.



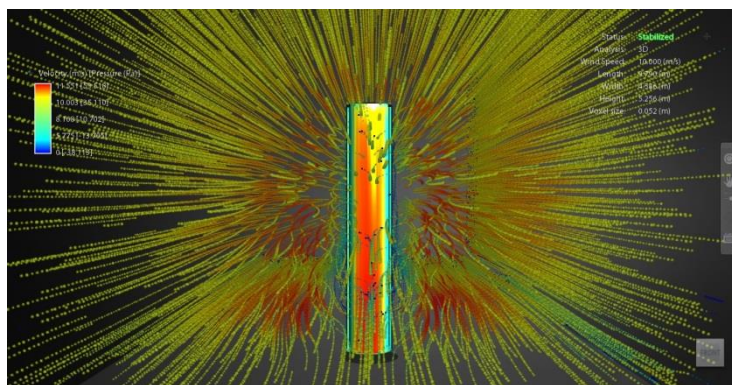
**Figura VI.24. Líneas de corriente interactuando en la zona media del edificio.**

Los resultados numéricos nos indican que hay regiones del modelo donde el flujo de aire tiene aceleraciones mayores y menores. La aceleración máxima se presenta en la parte superior y las de menor aceleración se presentan en las partes bajas del cilindro.

Para poder visualizar de mejor manera las variables que se presentan en el análisis, éstas se dividen en cuatro regiones que se describen a continuación.



Región A. La velocidad del flujo de aire es de 16.95 m/s y esta región hace referencia a la parte media del edificio. La cara frontal y baja del edificio presenta mucha mayor resistencia ante el flujo y esta zona presenta una velocidad máxima en el punto más crítico de 11.551 m/s, lo cual determina un impacto de presión alta aproximada a  $59.518 \text{ Pa}^{40} = 6,0691469564 \text{ [kgf/m}^2\text{]}$ . Es notable la identificación por color del impacto del flujo, que representa el área de color rojo: conforme aumenta la altura, el empuje es menor. Cabe notar también cómo se distribuye la formación de vórtices en ese punto crítico de la edificación, lo cual se muestra en la figura 25.



**Figura VI.25. Visualización de la cara frontal del prisma cilíndrico, que muestra el impacto del viento en velocidad m/s y en presión Pa.**

Región B. Presenta una aceleración ascendente con respecto a la velocidad de la región A y alcanza una velocidad aproximada de 23.921 m/s, la cual está comprendida por la parte superior del edificio.

Región C. Presenta una velocidad aproximada de 29.297 m/s ya que, de acuerdo a la escala de colores de identificación de la velocidad, el flujo se mantiene constante hasta una distancia de 250 metros de la parte superior del edificio.

Región D. La velocidad presenta el punto de aceleración más alto y adopta una dirección curva siguiendo la configuración geométrica del modelo. Cuando el flujo de aire atraviesa completamente la altura total de la geometría tiene una recirculación de manera ascendente pero con mayor energía cinética y la velocidad alcanzada es de aproximadamente 33.830 m/s.

<sup>40</sup> El pascal (símbolo Pa) es la unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades. Se define como la presión que ejerce una fuerza de 1 newton sobre una superficie de 1 metro cuadrado normal a la misma.

El comportamiento del volumen en planta se analiza en cuatro regiones que se describen a continuación.

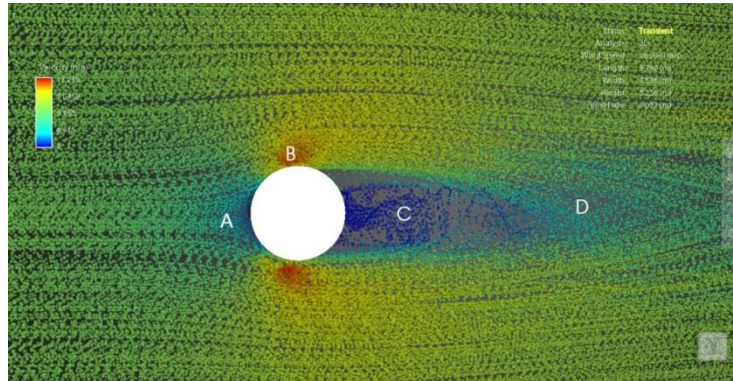


Figura VI.26. Vista en planta del cilindro en interacción con el viento.

Región A. La velocidad inicial del viento es de 10 m/s y al impactar con la pared del modelo se acumula debido a que es la parte más expuesta. Una parte de ese volumen de viento baja a 5.5 m/s de forma inmediata, donde se genera el área de presión alta; después de recorrer una corta distancia de la envolvente del cilindro, se va acelerando hasta llegar a la parte media de la región B.

Región B. Presenta en las paredes laterales una aceleración aproximada de 13.23 m/s, en donde se abre para continuar hacia la parte trasera, en la que se genera una zona de baja presión.

Región C. La zona de sotavento presenta una sombra de viento de baja presión. Esta área se va llenando de aire gradualmente, de tal forma que a una distancia aproximada del doble de la altura del edificio, el aire se encuentra en reposo.

Región D. Presenta un desprendimiento constante del aire que fluye hacia -y desde- el edificio. El viento recupera su velocidad original de una a una distancia de aproximadamente siete veces la altura de la construcción, como se muestra en la figura 27.

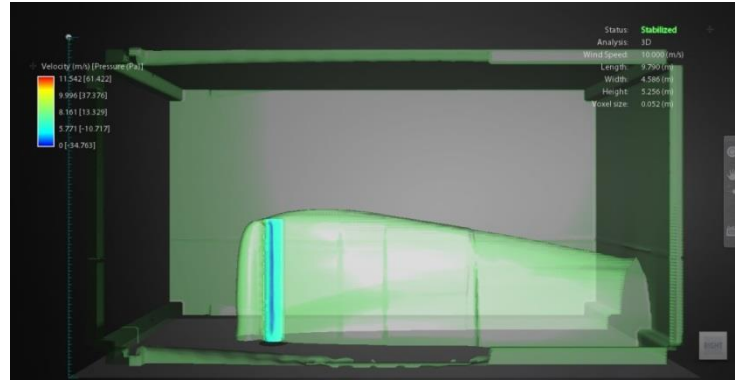


Figura VI.27. Isoperficie de vorticidad alrededor del edificio.

## Caso 2. Prisma Triangular.

En la figura 28 se muestran el modelo tridimensional de un prisma triangular.

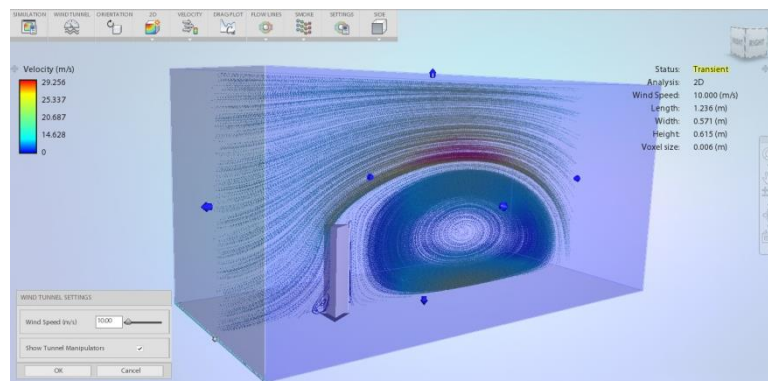


Figura VI.28. Modelo tridimensional del análisis de un prisma triangular, dentro del entorno de análisis del software de volumen finito basado en CFD.

## Análisis vertical de prisma triangular

En la figura 29 se muestra la **Orientación A**, en la que se puede observar la interacción del modelo triangular con el flujo de viento. Éste está expuesto en la fachada de mayor longitud y donde se muestran recirculaciones en el flujo del aire de diferentes zonas cuando el flujo choca con las paredes del modelo tridimensional.

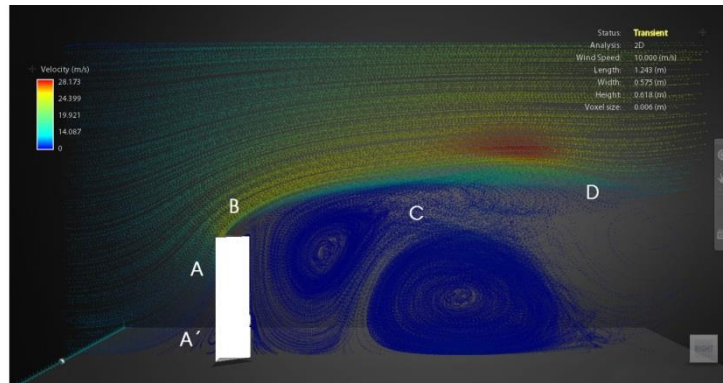


Figura VI.29. Líneas de corriente interactuando en la fachada más expuesta del edificio.

Los resultados numéricos nos indican que hay regiones del modelo donde el flujo de aire tiene aceleraciones mayores y menores. La aceleración máxima se presenta en la parte superior y las de menor aceleración se presentan en las partes bajas del triángulo.

Para poder visualizar de mejor manera las variables que se presentan en el análisis, éstas se dividen en cuatro regiones que describo a continuación.

## Orientación A

Región A. La velocidad del flujo de aire es de 14.087 m/s. Esta región hace referencia a la parte media y alta del edificio.

Región A'. La cara frontal y baja del edificio presenta mucha mayor resistencia ante el flujo; esta zona presenta una velocidad máxima en el punto más crítico de 12.712 m/s, lo cual determina un impacto de presión alta aproximada a  $74.86 \text{ Pa}^{41} = 7,6335955704 \text{ [kgf/m}^2\text{]}$ , siendo notable la identificación por color del impacto del flujo -que representa el área de color rojo-. También se observa que, conforme la altura aumenta, es menor el empuje, por lo que cabe notar la formación de vórtices en ese punto crítico de la edificación, como se muestra en la figura 30.

<sup>41</sup> El pascal (símbolo Pa) es la unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades. Se define como la presión que ejerce una fuerza de 1 newton sobre una superficie de 1 metro cuadrado normal a la misma.

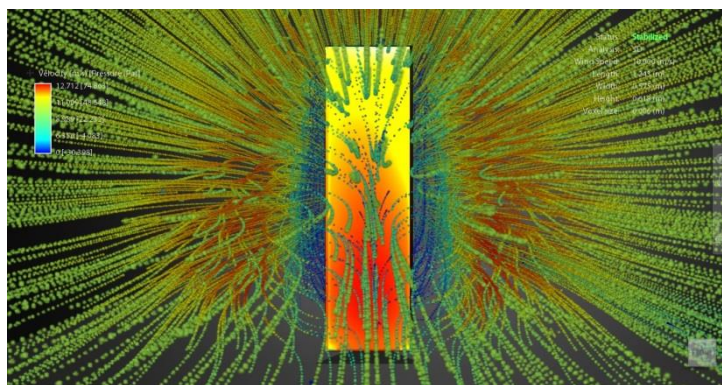


Figura VI.30. Visualización de la cara frontal del prisma triangular, que muestra el impacto del viento en velocidad m/s y en presión Pa.

Región B. Presenta una aceleración ascendente con respecto a la velocidad de la región A y alcanza una velocidad aproximada de 19.921 m/s, la cual está comprendida por la parte superior del edificio.

Región C. Presenta una velocidad aproximada de 24.339 m/s ya que, de acuerdo a la escala de colores de identificación de la velocidad, el flujo se mantiene constante hasta una distancia de cuatrocientos metros de la parte superior del edificio.

Región D. La velocidad presenta el punto de aceleración más alto y adopta una dirección curva siguiendo la configuración geométrica del modelo. Cuando el flujo de aire atraviesa completamente la altura total de la geometría tiene una recirculación de manera ascendente, pero con mayor energía cinética, y el comportamiento del flujo adquiere una complejidad mayor al presentar una serie de turbulencias que son evidentes por la formación de vórtices. La velocidad alcanzada es de aproximadamente 28.173 m/s.

## Orientación B

En la figura 31 se muestra la **Orientación B**: la interacción del mismo edificio, pero con otra orientación, pues ahora la fachada menor está expuesta hacia el flujo de viento.



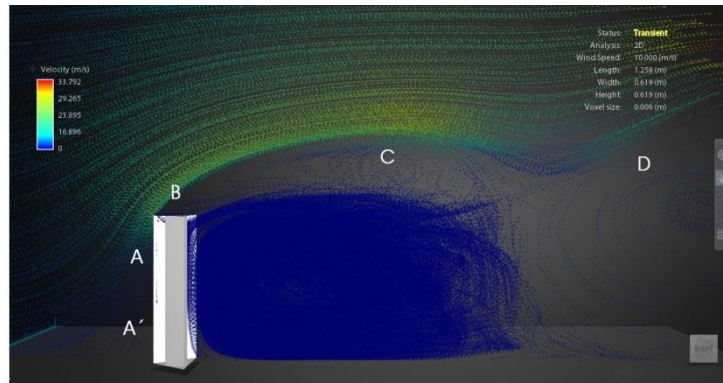


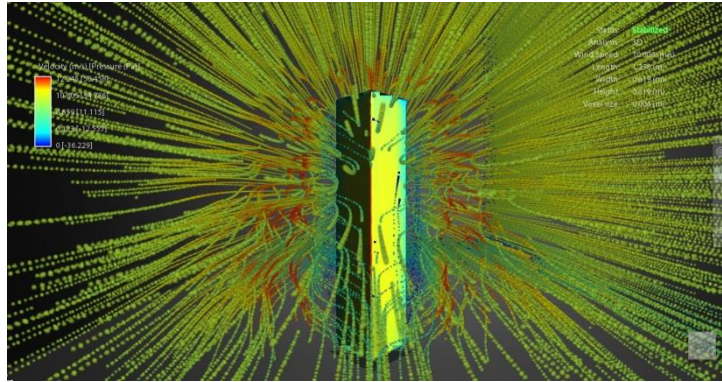
Figura VI.31. Líneas de corriente interactuando en la fachada menos expuesta del edificio.

Región A. La velocidad del flujo de aire es de 16.896 m/s; esta región hace referencia a la parte media y alta del edificio.

Región A'. La cara frontal y baja del edificio presenta mucha menor resistencia ante el flujo. Esta zona presenta una velocidad máxima en el punto más crítico de 12.245 m/s, lo cual determina un impacto de presión aproximada a  $58.458 \text{ Pa}^{42} = 5,9610570378 \text{ [kgf/m}^2\text{]}$ , siendo notable la formación de vórtices en ese punto crítico de la edificación, como se muestra en la figura 32.

El área de impacto es mínima y se identifica con el color rojo -presente en la parte más aguda de la facha frontal del edificio-. El flujo se distribuye hacia las dos caras complementarias, donde el impacto tiene un valor de  $34.768 \text{ Pa} = 3,5453493293 \text{ [kgf/m}^2\text{]}$ .

<sup>42</sup> El pascal (símbolo Pa) es la unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades. Se define como la presión que ejerce una fuerza de 1 newton sobre una superficie de 1 metro cuadrado normal a la misma.



**Figura VI.32. Visualización de la cara frontal del prisma triangular, que muestra el impacto del viento en velocidad m/s y en presión Pa.**

Región B. Presenta una aceleración ascendente con respecto a la velocidad de la región A y alcanza una velocidad aproximada de 23.895 m/s, la cual está comprendida por la parte superior del edificio.

Región C. Presenta una velocidad aproximada de 29.265 m/s ya que, de acuerdo a la escala de colores de identificación de la velocidad, el flujo se mantiene constante hasta una distancia de cuatrocientos metros de la parte superior del edificio.

Región D. La velocidad presenta el punto de aceleración más alto y adopta una dirección curva siguiendo la configuración geométrica del modelo. Cuando el flujo de aire atraviesa completamente la altura total de la geometría tiene una recirculación de manera ascendente, pero con mayor energía cinética, y el comportamiento del flujo adquiere una complejidad mayor al presentar una serie de turbulencias que son evidentes por la formación de vórtices. La velocidad alcanzada es de aproximadamente 33.792 m/s.



## Análisis en planta de la orientación A.

El comportamiento del volumen en planta se analiza en cuatro regiones que se describen a continuación.

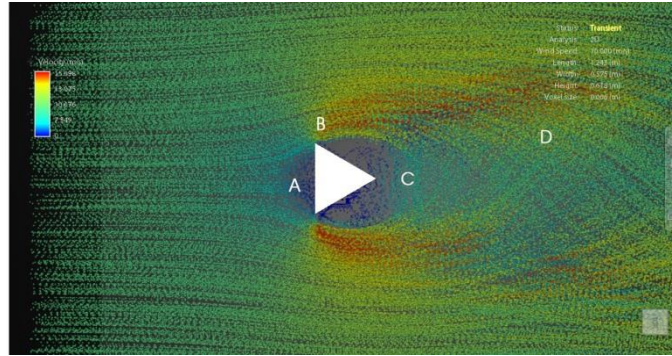


Figura VI.33. Vista en planta del prisma triangular en interacción con el viento.

Región A. La velocidad inicial del viento es de 10 m/s y al impactar con la pared del modelo, ésta se acumula por ser la parte más expuesta. Una parte de ese volumen de viento baja a 3.5 m/s de forma inmediata, donde se genera el área de presión alta, después de recorrer una larga distancia de la fachada de la envolvente del triángulo, se va acelerando hasta llegar a la parte de los vértices ortogonales de la región B.

Región B. Presenta en las paredes laterales una aceleración aproximada de 15.976 m/s, en donde se abre para continuar hacia la parte trasera, en la que se genera una zona de baja presión y de estabilización de la velocidad del flujo.

Región C. La zona de sotavento presenta una velocidad aproximada de 13.075 m/s y una sombra de viento de baja presión. Esta área se va llenando de aire gradualmente, de tal forma que a una distancia aproximada del doble de la altura del edificio, el aire se encuentra en reposo.

Región D. Presenta un constante desprendimiento de aire con una velocidad de 15.098 m/s, que fluye hacia -y desde- el edificio. El viento recupera su velocidad

original de una a una distancia de aproximadamente ocho veces la altura de la construcción, como se muestra en la figura 34.

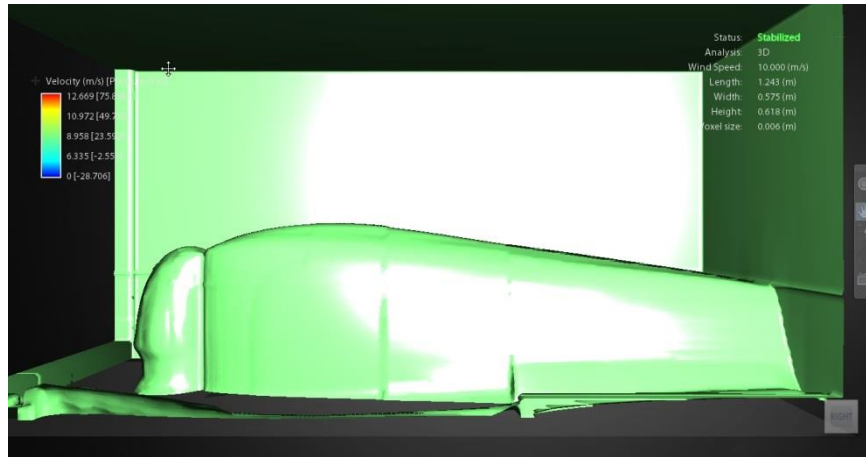


Figura VI.34. Isoperficie de vorticidad alrededor del edificio.

### Análisis en planta de la orientación B.

El comportamiento del volumen en planta se analiza en cuatro regiones diferentes que se describen abajo.

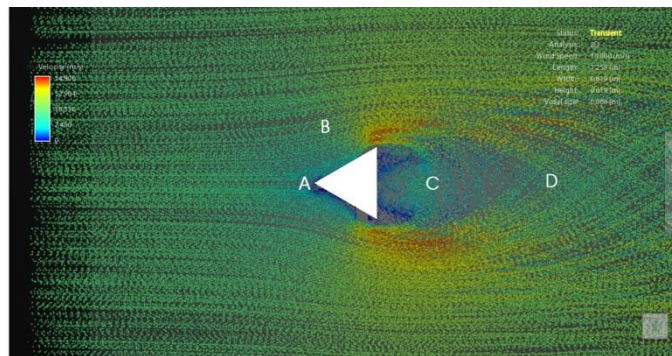


Figura VI.35. Vista en planta del prisma triangular en interacción con el viento.

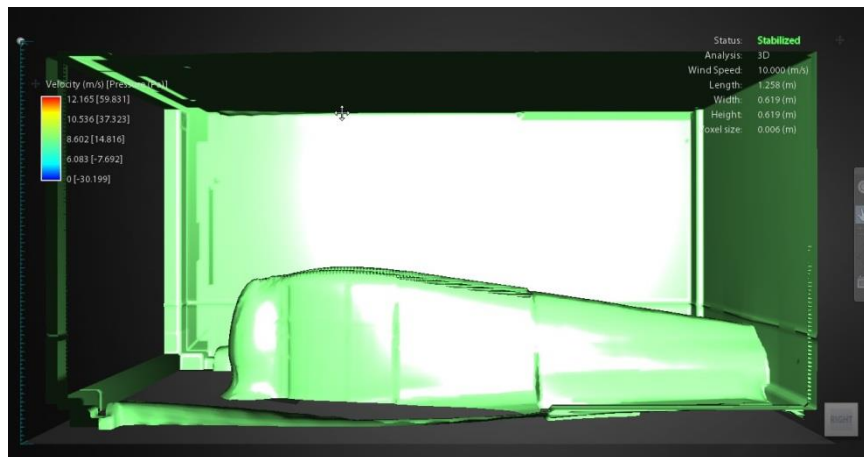
Región A. La velocidad inicial del viento es de 10 m/s y al impactar con la pared del modelo, ésta se acumula por ser la parte menos expuesta. Una parte de ese volumen de viento continúa con la misma velocidad, donde se genera el área de presión alta; después de recorrer una larga distancia de la fachada de la envolvente

del triángulo, se va acelerando hasta llegar a la parte de los vértices ortogonales de la región B.

Región B. Presenta en las paredes laterales una aceleración aproximada de 14.900 m/s, en donde se abre para continuar hacia la parte trasera, en la cual se genera una zona de baja presión y de estabilización de la velocidad del flujo.

Región C. La zona de sotavento presenta una velocidad aproximada de 12.904 m/s y una sombra de viento de baja presión; esta área se va llenando de aire gradualmente y presenta la formación de vórtices, de tal forma que a una distancia aproximada del doble de la altura del edificio, el aire se encuentra en reposo.

Región D. Presenta un constante desprendimiento de aire con una velocidad de 13 m/s, que fluye hacia -y desde- el edificio. El viento recupera su velocidad original de una a una distancia de aproximadamente ocho veces la altura de la construcción, como se muestra en la figura 36.



**Figura VI.36. Isoperficie de vorticidad alrededor del edificio.**

### Caso 3. Prisma Rectangular.

En la figura 37 se muestra el modelo tridimensional de un prisma rectangular.

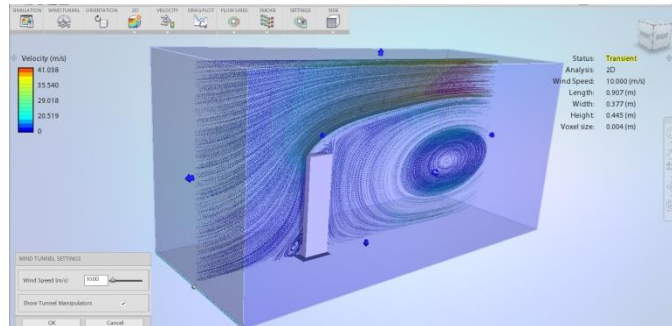


Figura VI.37. Modelo tridimensional del análisis de un prisma rectangular, dentro del entorno de análisis del software de volumen finito basado en CFD.

### Análisis vertical del prisma rectangular

#### Orientación A

En la figura 38 se muestra la **Orientación A**. En ella se observa la interacción del flujo sobre el edificio en forma de rectángulo a través de un volumen de control que interactúa con la fachada más expuesta. Se muestran recirculaciones en el flujo de aire de diferentes zonas cuando el flujo choca con las paredes del modelo tridimensional.

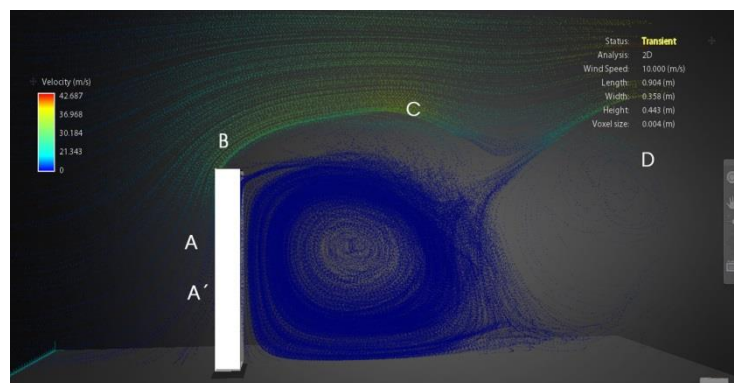
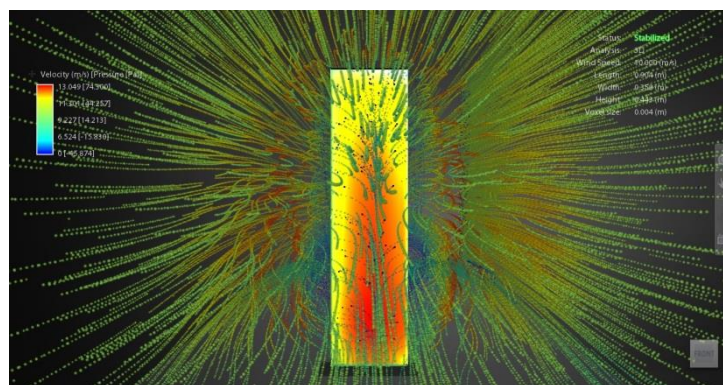


Figura VI.38. Líneas de corriente interactuando en la zona media del edificio.

Región A. La velocidad inicial del análisis es de 10 m/s y conforme el flujo de aire va avanzando hacia la parte más alta del edificio, se acelera, y la velocidad alcanzada en ese punto es de 21.343 m/s.

Región A'. La cara frontal y baja-media del edificio presenta mucha mayor resistencia ante el flujo. Esta zona presenta una velocidad aproximada de 10 m/s, lo cual determina un impacto de presión alta aproximada a  $74.300 \text{ Pa} = 7,5764914624 \text{ [kgf/m}^2\text{]}$ , como se muestra en la figura 39.



**Figura VI.39. Visualización de la cara frontal del prisma triangular, que muestra el impacto del viento en velocidad m/s y en presión Pa.**

Región B. Presenta una aceleración ascendente con respecto a la velocidad de la región A y alcanza una velocidad aproximada de 30.184 m/s, la cual está comprendida por la parte superior del edificio.

Región C. Presenta una velocidad aproximada de 36.968 m/s ya que, de acuerdo a la escala de colores de identificación de la velocidad, el flujo se mantiene ascendente hasta una distancia de seiscientos metros de la parte superior del edificio.

Región D. La velocidad presenta el punto de aceleración más alto y adopta una dirección curva siguiendo la configuración geométrica del modelo. Cuando el flujo de aire atraviesa completamente la altura total de la geometría tiene una recirculación de manera ascendente, pero con mayor energía cinética, y el comportamiento del flujo adquiere una complejidad mayor al presentar una serie de turbulencias que son

evidentes por la formación de vórtices. La velocidad alcanzada es de aproximadamente 42.687 m/s.

## Orientación B

En la figura 40 se muestra la **Orientación B**. En ella se observa la interacción del flujo sobre el edificio en forma de rectángulo impactando en la fachada más corta.

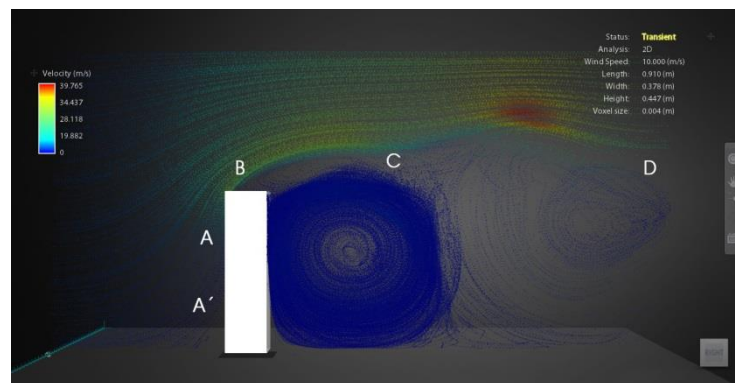
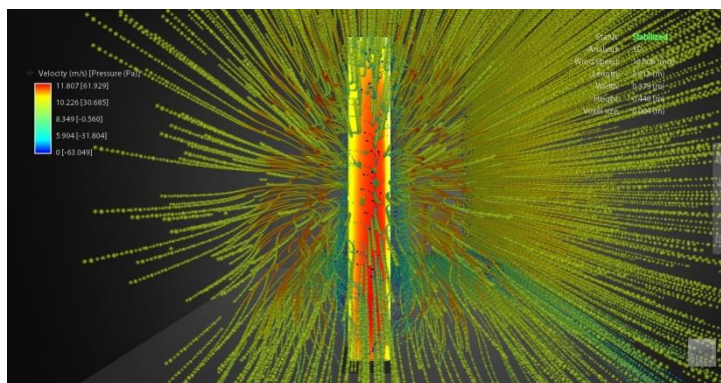


Figura VI.40. Líneas de corriente interactuando en la zona media del edificio.

Región A. La velocidad inicial del análisis es de 10 m/s y conforme va avanzando el flujo de aire hacia la parte más alta del edificio, se acelera, y la velocidad alcanzada en ese punto es de 19.882 m/s.

Región A'. La cara frontal y baja-media del edificio, presenta mucha mayor resistencia ante el flujo. Esta zona presenta una velocidad aproximada de 11.807 m/s, lo cual determina un impacto de presión alta aproximada a  $61.929 \text{ Pa} = 6,3150005354 \text{ [kgf/m}^2\text{]}$ , como se muestra en la figura 39.





**Figura VI.41. Visualización de la cara frontal del prisma triangular, que muestra el impacto del viento en velocidad m/s y en presión Pa.**

Región B. Presenta una aceleración ascendente con respecto a la velocidad de la región A y alcanza una velocidad aproximada de 28.118 m/s, la cual está comprendida por la parte superior del edificio.

Región C. Presenta una velocidad aproximada de 34.467 m/s ya que, de acuerdo a la escala de colores de identificación de la velocidad, el flujo se mantiene ascendente hasta una distancia de seiscientos metros de la parte superior del edificio.

Región D. La velocidad presenta el punto de aceleración más alto y adopta una dirección curva siguiendo la configuración geométrica del modelo. Cuando el flujo de aire atraviesa completamente la altura total de la geometría tiene una recirculación de manera ascendente, pero con mayor energía cinética, y el comportamiento del flujo adquiere una complejidad mayor al presentar una serie de turbulencias que son evidentes por la formación de vórtices. La velocidad alcanzada es de aproximadamente 39.765 m/s y se muestra una serie de fluctuaciones de velocidad que se desprenden desde la parte superior del edificio, las cuales hacen referencia a rachas de velocidad máxima que después de una distancia de tres veces la altura, se estabiliza nuevamente.



### Análisis en planta de la orientación A.

El comportamiento del volumen en planta se analiza en cuatro regiones que se describen enseguida.

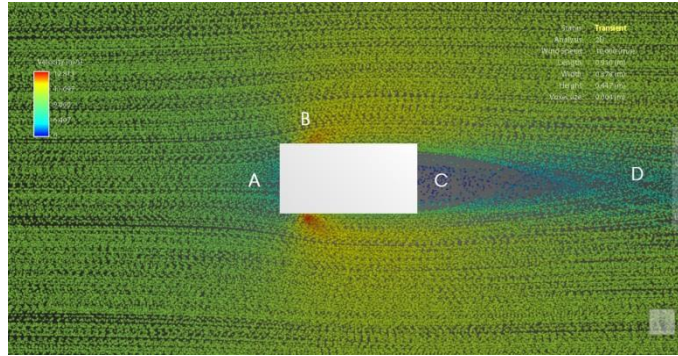


Figura VI.42. Vista en planta del prisma rectangular en interacción con el viento.

Región A. La velocidad inicial del viento es de 10 m/s y al impactar con la pared del modelo, se acumula por ser la parte más expuesta. Una parte de ese volumen de viento baja a 6.40 m/s de forma inmediata, donde se genera el área de presión alta; después de recorrer una corta distancia de la fachada de la envolvente del rectángulo, se va acelerando otra vez hasta llegar a la parte de los vértices ortogonales de la región B.

Región B. Presenta en las paredes laterales una aceleración aproximada de 12.86 m/s, en donde se abre para continuar hacia la parte trasera, en la que se genera una zona de baja presión y de estabilización de la velocidad del flujo.

Región C. La zona de sotavento presenta una velocidad aproximada de 11.09 m/s y una sombra de viento de baja presión. Esta área se va llenando de aire gradualmente, de tal forma que, a una distancia aproximada del doble de la altura del edificio, el aire se encuentra en reposo.

Región D. Presenta un constante desprendimiento de aire con una velocidad de 11.09 m/s, que fluye hacia -y desde- el edificio. El viento recupera su velocidad original de una a una distancia de aproximadamente diez veces la altura de la construcción, como se muestra en la figura 35.

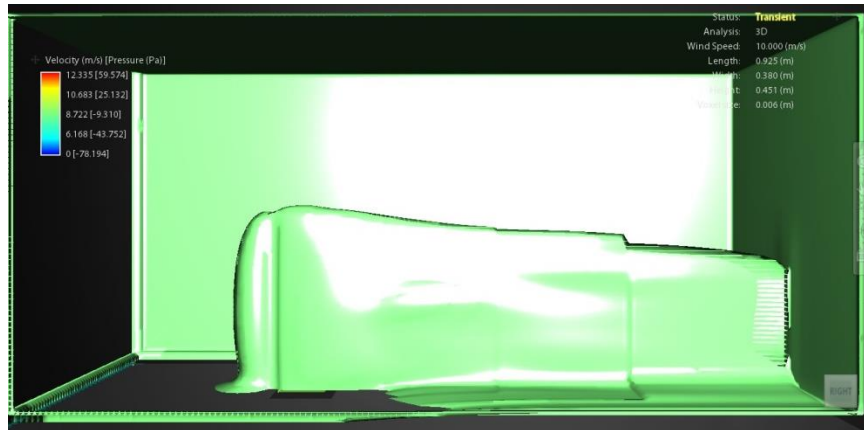


Figura VI.43. Isoperficie de vorticidad alrededor del edificio.

### Análisis en planta de la orientación B.

El comportamiento del volumen en planta se analiza en cuatro regiones que se describen a continuación.

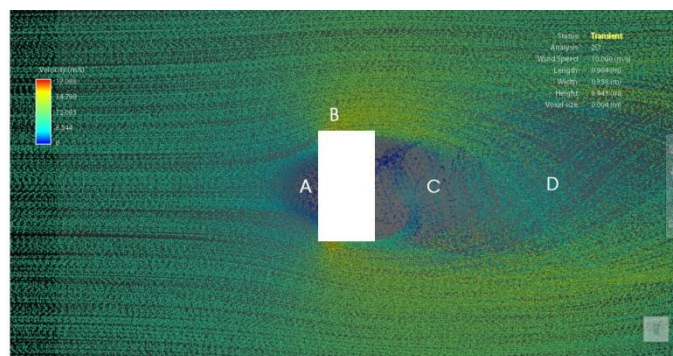


Figura VI.44. Vista en planta del prisma rectangular en interacción con el viento.

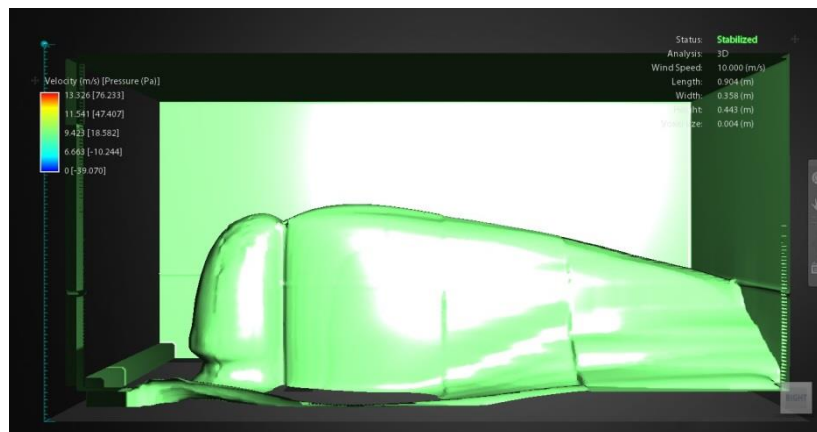
Región A. La velocidad inicial del viento es de 10 m/s y al impactar con la pared del modelo, se acumula por ser ésta la parte más expuesta. Una parte de ese volumen de viento baja a 3.00 m/s de forma inmediata, donde se genera el área de presión

alta; después de recorrer una larga distancia de la fachada de la envolvente del rectángulo, se va acelerando hasta llegar a la parte de los vértices ortogonales de la región B.

Región B. Presenta en las paredes laterales una aceleración aproximada de 15 m/s, en donde se abre para continuar hacia la parte trasera, en la que se genera una zona de baja presión y de estabilización de la velocidad del flujo.

Región C. La zona de sotavento presenta una velocidad aproximada de 13 m/s y una sombra de viento de baja presión. Esta área se va llenando de aire gradualmente de forma que, a una distancia aproximada del doble de la altura del edificio, el aire se encuentra en reposo.

Región D. Presenta un constante desprendimiento de aire con una velocidad de 11 m/s, que fluye hacia -y desde- el edificio. El viento recupera su velocidad original de una a una distancia de aproximadamente diez veces la altura de la construcción, como se muestra en la figura 43.



**Figura VI.45. Isoperficie de vorticidad alrededor del edificio.**

## Caso 4. Prisma Elíptico.

En la figura 46 se muestra el modelo tridimensional de un prisma elíptico.

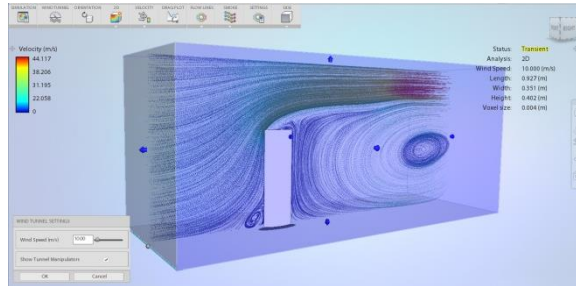


Figura VI.46. Modelo tridimensional del análisis de un prisma elíptico, dentro del entorno de análisis del software de volumen finito basado en CFD.

## Análisis vertical de prisma elíptico

### Orientación A

En la figura 47 se puede observar la interacción del flujo sobre el edificio en forma de elipse. A través de un volumen de control, se muestran las recirculaciones en el flujo de aire de diferentes zonas, cuando el flujo choca con las paredes del modelo tridimensional.

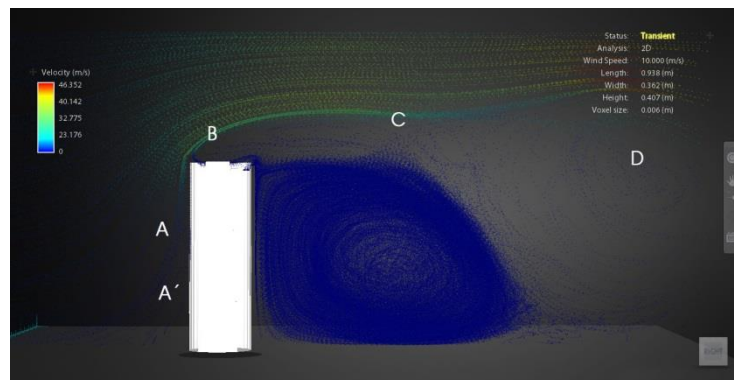


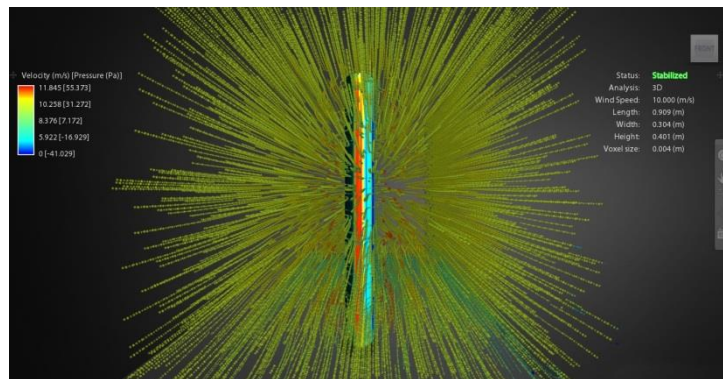
Figura VI.47. Líneas de corriente interactuando en la zona media del edificio.

Los resultados numéricos nos indican que hay regiones del modelo donde el flujo de aire tiene aceleraciones mayores y menores. La aceleración máxima se presenta en la parte superior y las de menor aceleración se presentan en las partes bajas del prisma elíptico.

Para poder visualizar de mejor manera las variables que se presentan en el análisis, éstas se dividen en cuatro regiones que describo a continuación.

Región A. La velocidad inicial del análisis es de 10 m/s y conforme va avanzando el flujo de aire hacia la parte más alta del edificio, alcanza una velocidad de 23.176 m/s.

Región A'. La cara frontal y baja-media del edificio presenta mucha mayor resistencia ante el flujo. Esta zona presenta una velocidad aproximada de 11.845 m/s, lo cual determina un impacto de presión alta aproximada a  $55.733 \text{ Pa} = 5,6831843698 \text{ [kgf/m}^2\text{]}$ , como se muestra en la figura 48.



**Figura VI.48. Visualización de la cara frontal del prisma elíptico, que muestra el impacto del viento en velocidad m/s y en presión Pa.**

Región B. Presenta una aceleración ascendente con respecto a la velocidad de la región A y alcanza una velocidad aproximada de 32.775 m/s, la cual está comprendida por la parte superior del edificio.

Región C. Presenta una velocidad aproximada de 40.142 m/s ya que, de acuerdo a la escala de colores de identificación de la velocidad, el flujo se mantiene

ascendente hasta una distancia de seiscientos metros de la parte superior del edificio.

Región D. La velocidad presenta el punto de aceleración más alto y adopta una dirección curva siguiendo la configuración geométrica del modelo. Cuando el flujo de aire atraviesa completamente la altura total de la geometría tiene una recirculación de manera ascendente, pero con mayor energía cinética, y el comportamiento del flujo adquiere una complejidad menor al presentar una serie de turbulencias que son menos evidentes por la poca formación de vórtices. La velocidad alcanzada es de aproximadamente 46.352 m/s.

## Orientación B

En la figura 49 se puede observar la interacción del flujo sobre el edificio en forma de elipse. A través de un volumen de control, se muestran las recirculaciones en el flujo de aire de diferentes zonas, cuando el flujo choca con las paredes de la orientación más amplia.

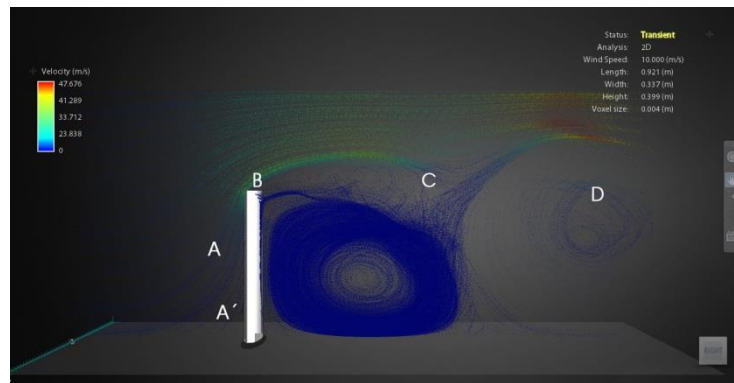


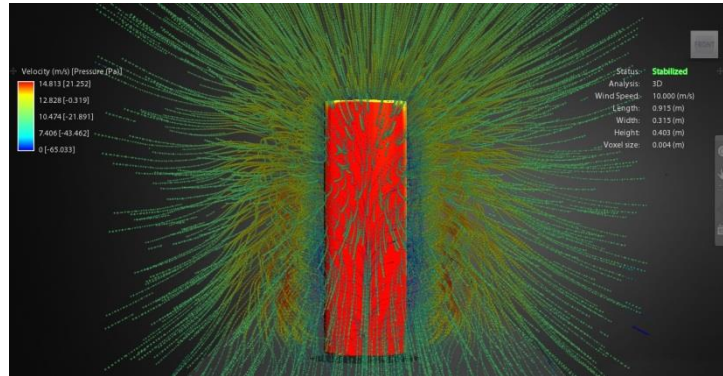
Figura VI.49. Líneas de corriente interactuando en la zona media del edificio.

Región A. La velocidad inicial del análisis es de 10 m/s y conforme va avanzando el flujo de aire hacia la parte más alta del edificio, alcanza una velocidad de 23.838 m/s.

Región A'. La cara frontal y baja-media del edificio presenta mucha mayor resistencia ante el flujo. Esta zona presenta una velocidad aproximada de 14 m/s, lo



cual determina un impacto de presión alta aproximada a  $21.252 \text{ Pa} = 2,1671008958 \text{ [kgf/m}^2\text{]}$ , esto determina un valor sumamente bajo por la configuración curva del volumen, como se muestra en la figura 39.



**Figura VI.50. Visualización de la cara frontal del prisma elíptico, que muestra el impacto del viento en velocidad m/s y en presión Pa.**

Región B. Presenta una aceleración ascendente con respecto a la velocidad de la región A y alcanza una velocidad aproximada de  $33.712 \text{ m/s}$ , la cual está comprendida por la parte superior del edificio.

Región C. Presenta una velocidad aproximada de  $41.289 \text{ m/s}$  ya que, de acuerdo a la escala de colores de identificación de la velocidad, el flujo se mantiene ascendente hasta una distancia de seiscientos metros de la parte superior del edificio.

Región D. La velocidad presenta el punto de aceleración más alto y adopta una dirección curva siguiendo la configuración geométrica del modelo. Cuando el flujo de aire atraviesa completamente la altura total de la geometría tiene una recirculación de manera ascendente, pero con mayor energía cinética, y el comportamiento del flujo adquiere una complejidad menor al presentar una serie de turbulencias que son menos evidentes por la poca formación de vórtices. La velocidad alcanzada es de aproximadamente  $47.676 \text{ m/s}$ .



## Análisis en planta orientación A.

El comportamiento del volumen en planta se analiza en cuatro regiones que se describen abajo.

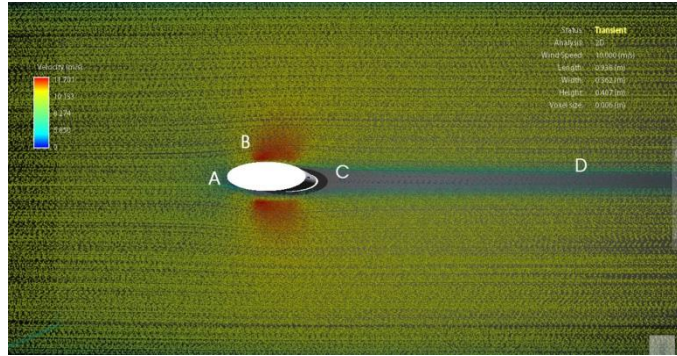


Figura VI.51. Vista en planta del prisma elíptico en interacción con el viento.

Región A. La velocidad inicial del viento es de 10 m/s y al impactar con la pared del modelo, ésta se acumula por ser la parte más expuesta. Una parte de ese volumen de viento baja a 5.85 m/s de forma inmediata, donde se genera el área de presión alta; después de recorrer una corta distancia de la fachada de la envolvente de la elipse, se va acelerando hasta llegar a la parte lateral de la región B.

Región B. Presenta en las paredes laterales una aceleración aproximada de 11.701 m/s, en donde se abre para continuar hacia la parte trasera, en la que se genera una zona de baja presión y de estabilización de la velocidad del flujo.

Región C. La zona de sotavento presenta una velocidad aproximada de 8.274 m/s y una sombra de viento de baja presión. Esta área se va llenando de aire gradualmente de tal forma que, a una distancia aproximada del doble de la altura del edificio, el aire se encuentra en reposo.

Región D. Presenta un constante desprendimiento de aire con una velocidad de 8.274 m/s, que fluye hacia -y desde- el edificio. El viento recupera su velocidad original de una a una distancia de aproximadamente diez veces la altura de la construcción, como se muestra en la figura 41.

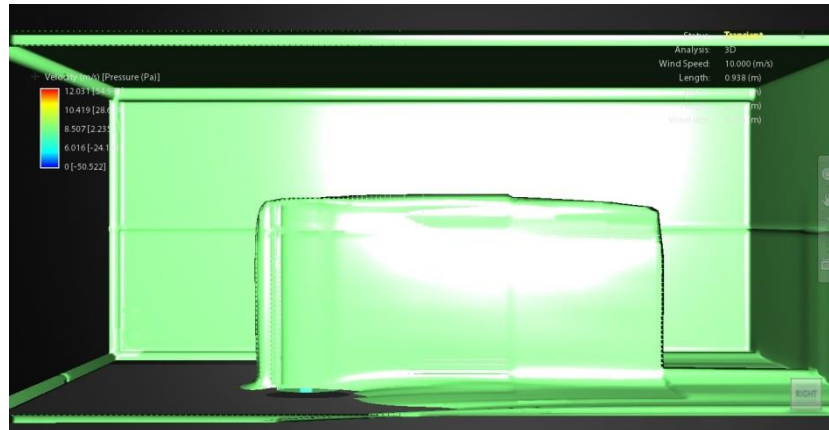


Figura VI.52. Isoperficie de vorticidad alrededor del edificio.

### Análisis en planta orientación B.

El comportamiento del volumen en planta se analiza en cuatro regiones que se describen a continuación.

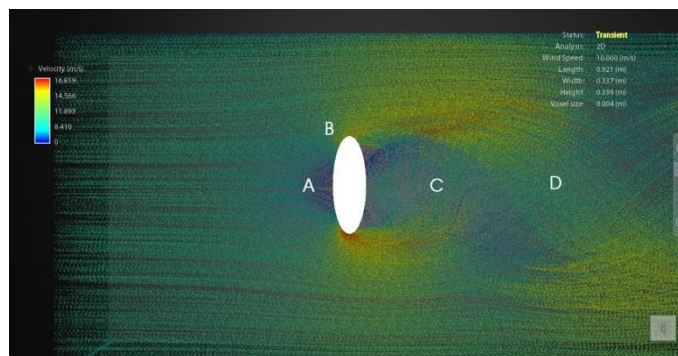


Figura VI.53. Vista en planta del prisma elíptico en interacción con el viento.

Región A. La velocidad inicial del viento es de 10 m/s y al impactar con la pared del modelo, se acumula por ser ésta la parte más expuesta. Una parte de ese volumen de viento baja a 4.5 m/s de forma inmediata, donde se genera el área de presión

alta; después de recorrer una corta distancia de la fachada de la envolvente de la elipse, se va acelerando hasta llegar a la parte lateral de la región B.

Región B. Presenta en las paredes laterales una aceleración aproximada de 16.819 m/s, en donde se abre para continuar hacia la parte trasera, en la cual se genera una zona de baja presión y de estabilización de la velocidad del flujo.

Región C. La zona de sotavento presenta una velocidad aproximada de 11.893 m/s y una sombra de viento de baja presión. Esta área se va llenando de aire gradualmente de tal forma que, a una distancia aproximada del doble de la altura del edificio, el aire se encuentra en reposo.

Región D. Presenta un constante desprendimiento de aire con una velocidad de 8.274 m/s, que fluye hacia -y desde- el edificio. El viento recupera su velocidad original de una a una distancia de aproximadamente diez veces la altura de la construcción, como se muestra en la figura 52.

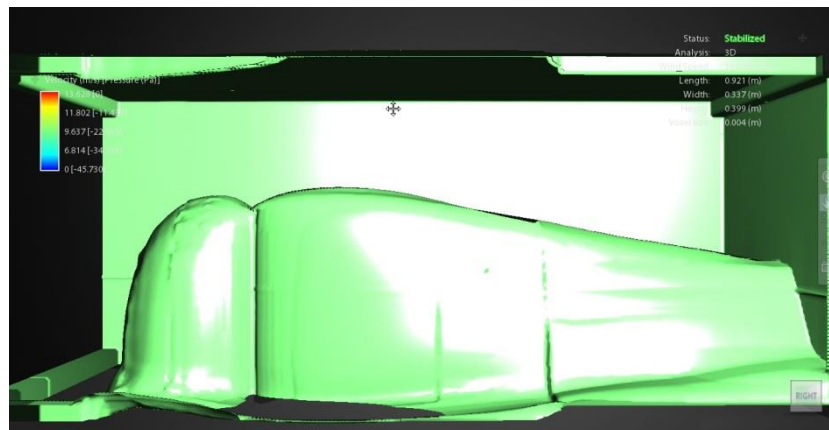


Figura VI.54. Isoperficie de vorticidad alrededor del edificio.

## Conclusiones del análisis

Con base en el análisis de los modelos efectuado mediante la técnica de visualización de humo y realizado en el túnel de viento, se muestra el diferente comportamiento del viento al impactar en las distintas figuras que conforman el estudio.

Las figuras simplificadas de los modelos permitieron determinar los perfiles de eficiencia ante el condicionante del viento y, como parte de la metodología de análisis de las plantas arquitectónicas, se demuestra que las tendencias de las megaedificaciones se orientan a tener una conformación elíptica y suavizada en los bordes que conforman la parte perimetral de la figura.

Con base en el análisis del comportamiento del viento en interacción con los diferentes modelos, logramos observar una serie de variaciones con respecto a cada figura analizada. Por un lado, las figuras que tienen una estructura más ortogonal, tienden a provocar mucha mayor turbulencia en su interacción con el flujo de aire. Tal es el caso del prisma rectangular y el prisma triangular, pues en los dos casos es evidente un comportamiento mucho más errático que con las otras figuras. Las paredes en ángulos a  $90^\circ$  y los vértices derivados de este ángulo de unos  $45^\circ$ , presentan una cantidad mucho mayor de vórtices -regiones de flujo circulante- los cuales son una turbulencia alta que tiene un sentido similar a las manecillas del reloj. En puntos medios de la altura total de las figuras, se presentan una serie de efectos muy peculiares, ya que al observar el recorrido del flujo de izquierda a derecha e impactar con las paredes verticales, se genera un vórtice bastante intenso que después de generar un empuje con la superficie, tiende a subir una cantidad de este flujo y otra a bajar; mientras que otra cantidad de flujo tiende a rodear a la edificación hacia la parte trasera para convertirse en una serie de turbulencias mayores que se alejan de las paredes a una distancia similar a la total del modelo. Estos vórtices propician un comportamiento muy desfavorable para edificaciones de gran altura, pues conllevaría que su estabilidad estructural pudiese verse afectada por los efectos del viento.

Por otra parte, los modelos con una configuración más redondeada y suavizada en sus bordes, como lo son el prisma elíptico y el prisma cilíndrico, presentan un comportamiento mucho más estabilizado y fluido en su conformación estructural. La presencia de pocos vórtices que se desprendan de las volumetrías es evidente en el análisis. Todo parece indicar que las figuras con estas características tienden a comportarse mucho mejor ante las condiciones de viento, si lo que se busca es reducir las cargas de empuje del viento y dirigirlo hacia donde no afecte a la edificación.



# Capítulo VII.

## PROPUESTAS Y CONCLUSIONES

En el anterior capítulo se logró visualizar el comportamiento del viento en los diferentes casos de estudio mediante diferentes técnicas de análisis.

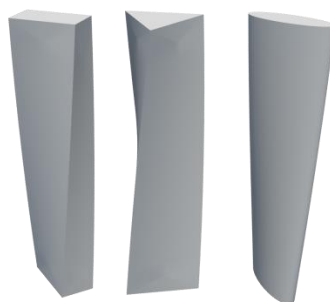
A continuación, estableceré las propuestas de los rascacielos que se definen como los más eficientes ante el factor viento.



## Propuesta de las Megaedificaciones

El viento es un factor determinante para el diseño, la planeación y la construcción de los rascacielos. Como resultado del análisis realizado en el capítulo anterior, se ha logrado visualizar el variado comportamiento de una serie de rascacielos que son resultado de las tendencias formales arquitectónicas de la metodología de análisis establecida en el capítulo 4. Para facilitar y establecer una metodología de estudio, se simplificaron en figuras geométricas puras (prismas triangular, rectangular, elíptico y cilíndrico) con el fin de facilitar el estudio de cada uno de ellos. Las tendencias de las propuestas de diseño resultantes del análisis del viento, se caracterizan por presentar una menor resistencia y una alta eficiencia ante el flujo de aire. Esto es muy importante a la hora de proponer y generar edificaciones mucho más eficientes a futuro.

Las condiciones del viento varían según sea la ubicación geográfica, ya que la orientación de cada modelo puede variar en su comportamiento ante el flujo de aire y esto se debe tener en cuenta puesto que, cuando se diseña cualquier edificación, el factor viento es de suma importancia -tanto o más que otros factores que puedan influir en la edificación-. Ya hemos comprobado que las geometrías con vértices de 90° y sus derivaciones, provocan una serie de movimientos caóticos que ponen en riesgo la capacidad estructural de las edificaciones en altura. Y como parte de la experimentación en el túnel de viento y en el sistema de CFD, se determinó que las propuestas fueran las siguientes:



**Figura VII.1. Propuestas de los rascacielos en forma tridimensional.**



## **Análisis de las propuestas**

El volumen de control para el análisis numérico se configuró acorde a distancias equivalentes del modelo tridimensional. Se tomó como referencia la altura total, la distancia es una vez la altura del modelo para las paredes laterales, la altura y la pared principal, y la distancia horizontal y posterior al modelo es de tres veces la altura.

Las formas geométricas de los modelos propuestos son las mismas en dimensiones y proporción; lo variable es la configuración de su giro en la altura: los modelos están torcidos a lo largo de su desarrollo en altura, ya que en relación a los resultados de la experimentación física y numérica, se logró determinar que las fachadas que se encuentran perpendiculares al flujo de aire, los vértices en esquina y los puntos críticos como las cubiertas, las partes medias y las partes bajas de los rascacielos, propician una variación muy fuerte en el comportamiento del viento.

A continuación presento el análisis de las tres propuestas para poder determinar cuál es la más eficiente ante la constante del viento.



## Caso 1. Prisma triangular torcido.

En la figura 2 se muestran el modelo tridimensional de una prisma triangular que cumple con las mismas características que los modelos a escala analizados previamente en el túnel aerodinámico.

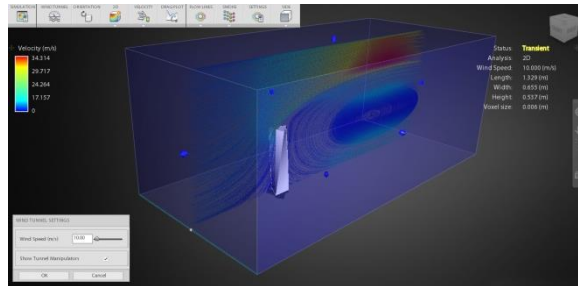


Figura VII.2. Modelo tridimensional, dentro del entorno de análisis del software de volumen finito basado en CFD.

Para poder visualizar de mejor manera las variables que se presentan en el análisis se divide en cuatro regiones, las cuales se describen a continuación.

### Análisis vertical

En la figura 3 se observa la interacción del flujo sobre el edificio a través de un volumen de control y que interactúa con la geometría de forma directa, se muestra recirculaciones en el flujo de aire de diferentes zonas, cuando el flujo choca con las paredes del modelo tridimensional.

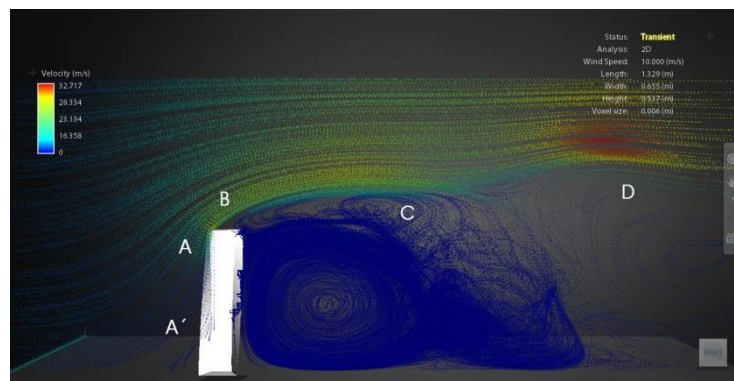
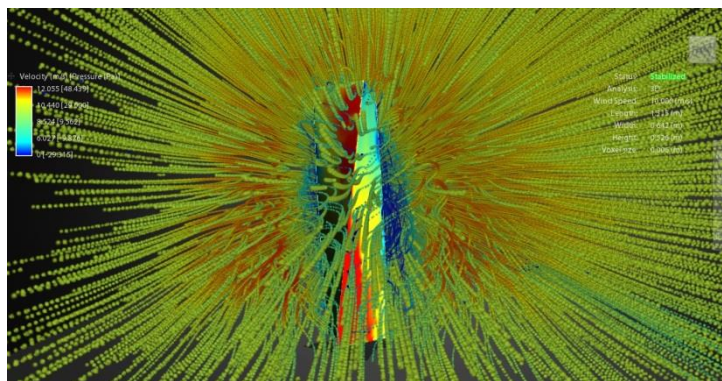


Figura VII.3. Líneas de corriente interactuando en la zona media del edificio.

Región A. La velocidad inicial del análisis es de 10 m/s y conforme va avanzando el flujo de aire hacia la parte más alta del edificio, se acelera y la velocidad alcanzada en este punto es de 28.334 m/s.

Región A'. La cara frontal del edificio, presenta mucha mayor resistencia ante el flujo, esta zona presenta una velocidad aproximada de 12.055 m/s, lo cual determina un impacto de presión aproximada a  $48.439 \text{ Pa} = 4.939403364 \text{ [kgf/m}^2\text{]}$ , como se muestra en la figura 4.



**Figura VII.4. Visualización de la cara frontal del prisma triangular, que muestra el impacto del viento en velocidad m/s y en presión Pa.**

En la imagen anterior podemos observar la fachada frontal del edificio, la cual se encuentra bajo el análisis de flujo de viento y presión superficial, la identificación de colores nos indica que el color rojo presente en cierta área de la fachada es equivalente a un valor de presión de  $48.439 \text{ Pa} = 4.939403364 \text{ [kgf/m}^2\text{]}$ , valor que se redujo a  $26.364 \text{ Pa}$ , en relación el modelo del prisma triangular con los vértices ortogonales y que presento un valor de  $12.712 \text{ m/s}$ , lo cual determina un impacto de presión aproximada a  $74.803 \text{ Pa} = 7.6277831879 \text{ [kgf/m}^2\text{]}$ .

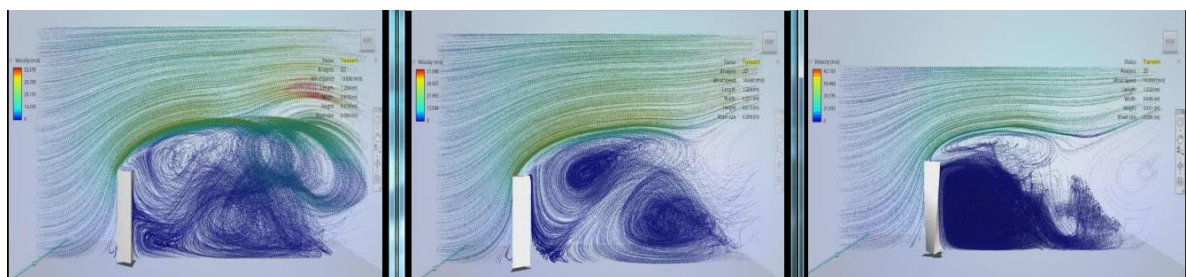
Además de reducir la velocidad de impacto del flujo de aire, se redujo el área de impacto por presión en la fachada, se redistribuyó a lo alto de una pequeña sección de los bordes rotados.

Región B. Presenta una aceleración ascendente con respecto a la velocidad de la región A y alcanza una velocidad aproximada de 28.334 m/s, la cual está comprendida por la parte superior del edificio.

Región C. Presenta una velocidad aproximada de 23.134 m/s ya que de acuerdo a la escala de colores de identificación de la velocidad, el flujo se mantiene ascendente hasta una distancia de 600 metros de la parte superior del edificio.

Región D. La velocidad presenta el punto de aceleración más alto y adopta una dirección curva siguiendo la configuración geométrica del modelo, cuando el flujo de aire atraviesa completamente la altura total de la geometría tiene una recirculación de manera ascendente pero con mayor energía cinética y el comportamiento del flujo adquiere una complejidad mayor al presentar una serie de turbulencias que son evidentes por la formación de vórtices, la velocidad alcanzada es de aproximadamente 32.717 m/s.

En general dentro de las características del comportamiento del flujo de aire, este resulta ser mucho menos errático y caótico que en los casos anteriores de análisis de viento, las presencia de menos vórtices y la reducción de desprendimientos de energía a lo largo de la composición de la bolsa de aire, en el caso del rascacielos con una configuración girada a lo alto de su geometría resulta ser mucho más eficiente que en los demás casos que presentan una geometría ortogonal.



**Figura VII.5. Comparativa del modelo de prisma triangular con diferentes orientaciones. Extrema derecha ejemplo con la geometría rotada.**

## Análisis en planta

El comportamiento del volumen en planta se analiza en cuatro regiones y se describen enseguida.

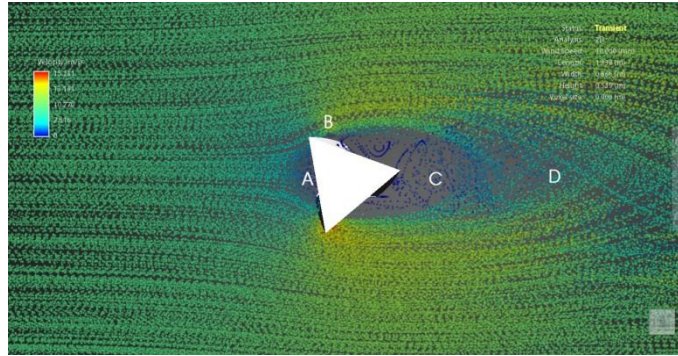


Figura VII.6. Vista en planta del prisma rectangular en interacción con el viento.

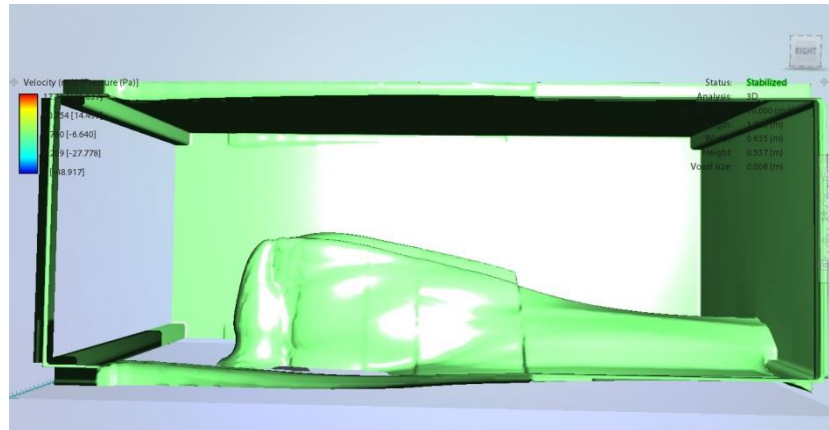
Región A. La velocidad inicial del viento es de 10 m/s y al impactar con la pared del modelo, se acumula por ser la parte más expuesta, una parte de ese volumen de viento baja a 5.00 m/s de forma inmediata, donde se genera el área de presión baja, al recorrer parte de la superficie de la fachada que es muy corta y se divide por la forma torcida de la geometría del edificio.

Región B. Presenta en las paredes laterales una aceleración aproximada de 13.91 m/s, en donde se abre para continuar hacia la parte trasera, donde se genera una zona de baja presión y de estabilización de la velocidad del flujo.

Región C. La zona de sotavento presenta una velocidad aproximada de 10.70 m/s y una sombra de viento de baja presión, esta área se va llenando de aire gradualmente, de tal forma que a una distancia aproximada del doble de la altura del edificio, el aire se encuentra en reposo.

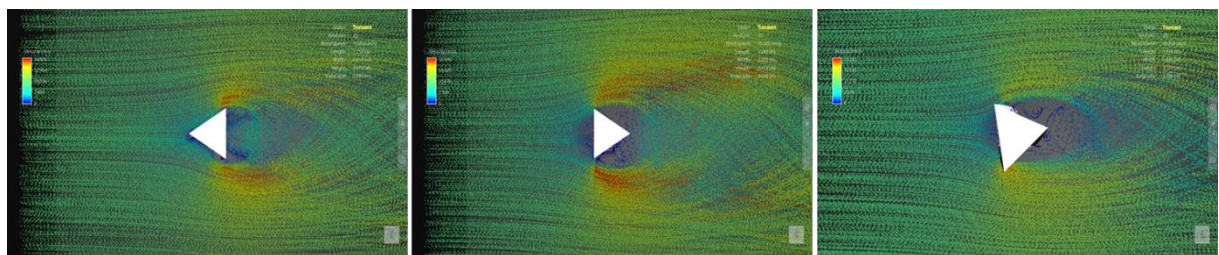


Región D. Presenta un constante desprendimiento de aire con una velocidad de 10.00 m/s, que fluye hacia y desde el edificio, el viento recupera su velocidad original de una a una distancia de aproximadamente 3 veces la altura de la construcción, como se muestra en la figura 7.



**Figura VII.7. Isoperficie de vorticidad alrededor del edificio.**

Es notable la variación y la disminución de los efectos negativos de las figuras puramente ortogonales, con respecto a las figuras con una geometría suavizada y torcida, el impacto del viento se vuelve mucho menos errático en su comportamiento y en los empujes generados en la superficie.

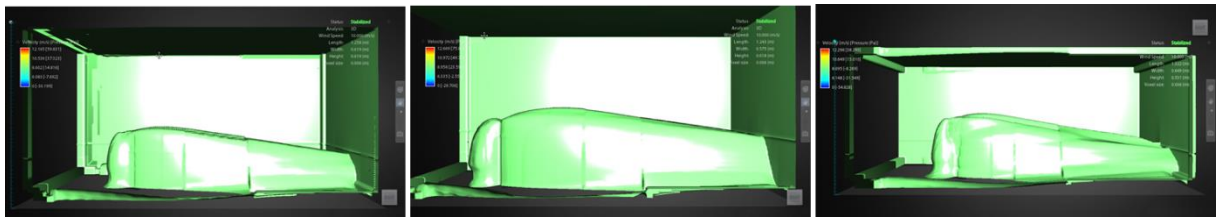


**Figura VII.8. Comparativa de los diferentes análisis en planta y que muestra la variación del comportamiento para cada caso.**

En la figura 8 se muestra la comparativa de las diferentes orientaciones y sus efectos ante el flujo de viento, la reducción de la velocidad del viento es notable en el cambio de geometría. De izquierda a derecha y con la identificación de colores es evidente que las dos primeras figuras son mucho más deficientes ante este factor,

mientras que la figura tres que presenta una modificación en su geometría es mucho más eficiente a los efectos de impacto de viento.

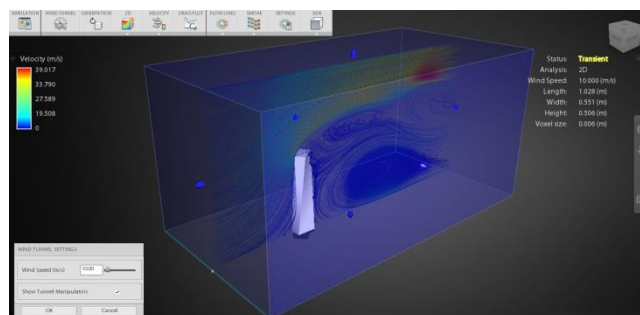
En la figura 9 muestran claramente de izquierda a derecha la variación del impacto de viento y la reducción de la sombra del edificio respecto de la figura final que se analiza, peculiarmente en la figura final muestra una reducción en el tamaño de la bolsa de aire, debido a que el volumen esta rotado.



**Figura VII.9. Isosuperficies que muestran la bolsa de impacto generada por las diferentes figuras geométricas.**

## **Caso 2. Prisma rectangular torcido.**

En la figura 10 se muestran el modelo tridimensional de una prisma triangular que cumple con las mismas características que los modelos a escala.



**Figura VII.10. Modelo tridimensional, dentro del entorno de análisis del software de volumen finito basado en CFD.**



## Análisis vertical

En la figura 11 se observa la interacción del flujo sobre el edificio

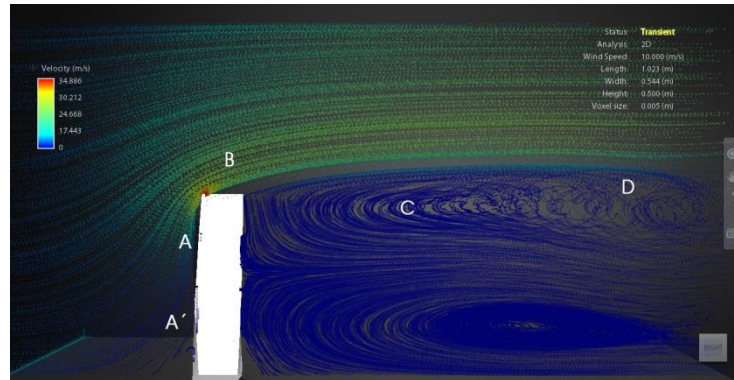


Figura VII.11. Líneas de corriente interactuando en la zona media del edificio.

Región A. La velocidad inicial del análisis es de 10 m/s y conforme va avanzando el flujo de aire hacia la parte más alta del edificio, se acelera y la velocidad alcanzada en este punto es de 30.212 m/s.

Región A'. La cara frontal del edificio, presenta mucha mayor resistencia ante el flujo, esta zona presenta una velocidad aproximada de 12.177 m/s, lo cual determina un impacto de presión aproximada a  $62.273 \text{ Pa} = 6.3500787731 \text{ [kgf/m}^2\text{]}$ , como se muestra en la figura 12.

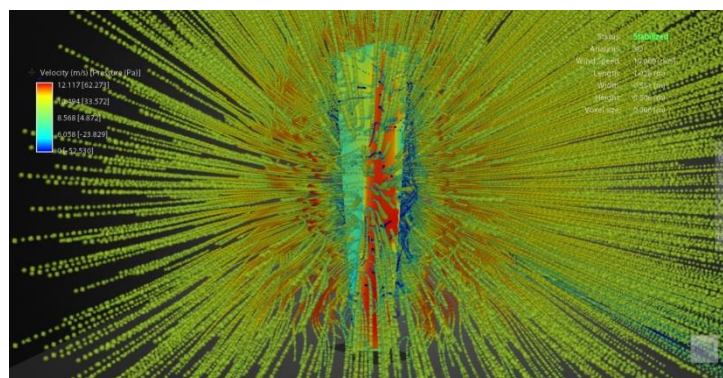


Figura VII.12. Visualización de la cara frontal del prisma rectangular, que muestra el impacto del viento en velocidad m/s y en presión Pa.

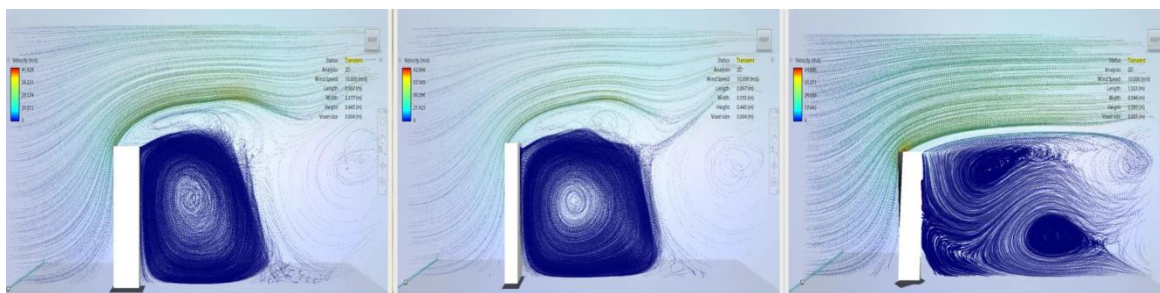
En la imagen anterior podemos observar la fachada frontal del edificio, la cual se encuentra bajo el análisis de flujo de viento y presión superficial, la identificación de colores nos indica que el color rojo presente en cierta área de la fachada es equivalente a un valor de presión de  $62.273 \text{ Pa} = 6.3500787731 \text{ [kgf/m}^2\text{]}$ , valor que se redujo al  $12.027 \text{ Pa}$ , en relación el modelo del prisma rectangular con los vértices ortogonales y que presento un valor de  $13.049 \text{ m/s}$ , lo cual determina un impacto de presión aproximada a  $74.300 \text{ Pa} = 7,5764914624 \text{ [kgf/m}^2\text{]}$ .

Además de reducir la velocidad de impacto del flujo de aire, se redujo el área de impacto por presión en la fachada, se redistribuyo a lo alto de una pequeña sección de los bordes rotados.

Región B. Presenta una aceleración ascendente con respecto a la velocidad de la región A y alcanza una velocidad aproximada de  $34.886 \text{ m/s}$ , la cual está comprendida por la parte superior del edificio.

Región C. Presenta una velocidad aproximada de  $17.443 \text{ m/s}$  ya que de acuerdo a la escala de colores de identificación de la velocidad, el flujo se mantiene ascendente hasta una distancia de 600 metros de la parte superior del edificio.

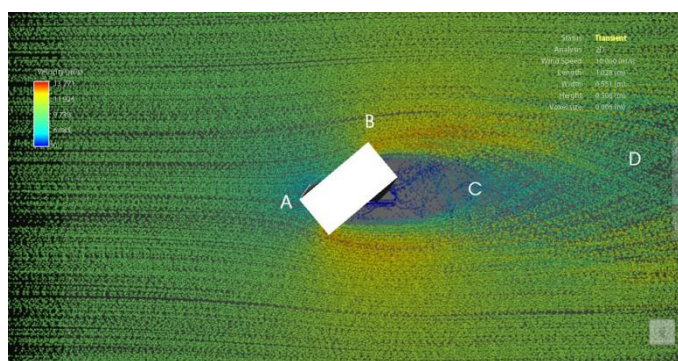
Región D. La velocidad presenta el punto de aceleración más bajo y adopta una dirección curva siguiendo la configuración geométrica del modelo, cuando el flujo de aire atraviesa completamente la altura total de la geometría tiene una recirculación de manera ascendente pero con menor energía cinética y el comportamiento del flujo adquiere una complejidad mayor al presentar una serie de turbulencias que son evidentes por la formación de vórtices, la velocidad alcanzada es de aproximadamente  $10 \text{ m/s}$ .



**Figura VII.13. Comparativa del modelo de prisma rectangular con diferentes orientaciones. Extrema derecha ejemplo con la geometría rotada.**

## **Análisis en planta**

El comportamiento del volumen en planta se analiza en cuatro regiones y se describen enseguida.



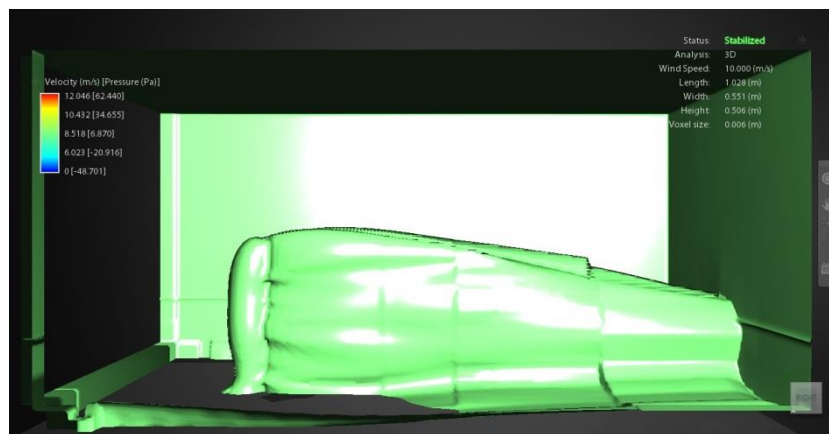
**Figura VII.14. Vista en planta del prisma rectangular en interacción con el viento.**

Región A. La velocidad inicial del viento es de 10 m/s y al impactar con la pared del modelo, se acumula por ser la parte más expuesta, una parte de ese volumen de viento baja a 4 m/s de forma inmediata, donde se genera el área de presión baja, al recorrer parte de la superficie de la fachada que es muy corta y se divide por la forma torcida de la geometría del edificio.

Región B. Presenta en las paredes laterales una aceleración aproximada de 13.771 m/s, en donde se abre para continuar hacia la parte trasera, donde se genera una zona de baja presión y de estabilización de la velocidad del flujo.

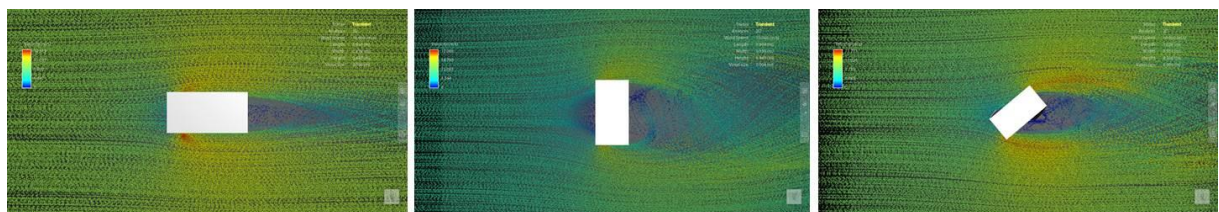
Región C. La zona de sotavento presenta una velocidad aproximada de 8 m/s y una sombra de viento de baja presión, esta área se va llenando de aire gradualmente, de tal forma que a una distancia aproximada del doble de la altura del edificio, el aire se encuentra en reposo.

Región D. Presenta un constante desprendimiento de aire con una velocidad de 10.00 m/s, que fluye hacia y desde el edificio, el viento recupera su velocidad original de una a una distancia de aproximadamente 3 veces la altura de la construcción, como se muestra en la figura 15.



**Figura VII.15. Isoperficie de vorticidad alrededor del edificio.**

La variación y la disminución de los efectos negativos de las figuras puramente ortogonales, con respecto a las figuras con una geometría torcida, el impacto del viento se vuelve mucho menos errático en su comportamiento y en los empujes generados en la superficie.

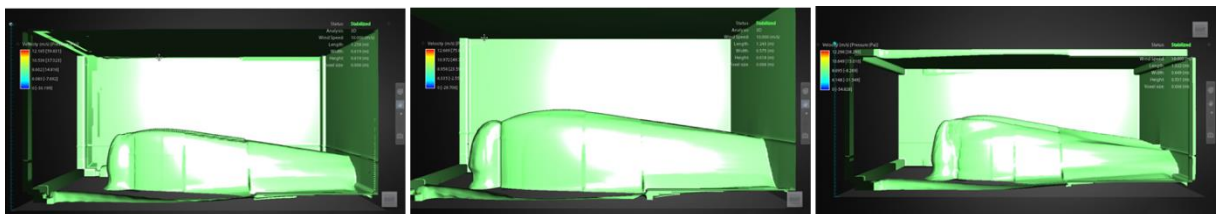


**Figura VII.16. Comparativa de los diferentes análisis en planta y que muestra la variación del comportamiento para cada caso.**



En la figura 16 se muestra la comparativa de las diferentes orientaciones y sus efectos ante el flujo de viento, la reducción de la velocidad del viento es notable en el cambio de geometría aunque no la presencia de vórtices y la aceleración del viento en los vértices del volumen. De izquierda a derecha y con la identificación de colores es evidente que las dos primeras figuras dependiendo de la orientación de su fachada, son delicados los efectos del viento, ya que muestran una serie de movimientos erráticos en el flujo de viento que los impacta, son mucho más deficientes ante este factor, mientras que la figura tres que presenta una modificación en su geometría es mucho más eficiente aunque no la mejor, por seguir mostrando una serie de desprendimiento de vórtices por la configuración ortogonal de su estructura.

En la figura 17 muestran claramente de izquierda a derecha la variación del impacto de viento y la reducción de la sombra del edificio según la orientación y conformación de su forma final, mientras que en las dos primeras imágenes la bolsa de aire es mucho más impactante por tener una superficie más expuesta ante el flujo, la imagen 3 muestra una reducción de la bolsa de aire, al tener una configuración torcida.



**Figura VII.17. Isosuperficies que muestran la bolsa de impacto generada por las diferentes figuras geométricas.**

### Caso 3. Prisma elíptico torcido.

En la figura 18 se muestran el modelo tridimensional de una prisma elíptico torcido que cumple con las mismas características que los modelos a escala.

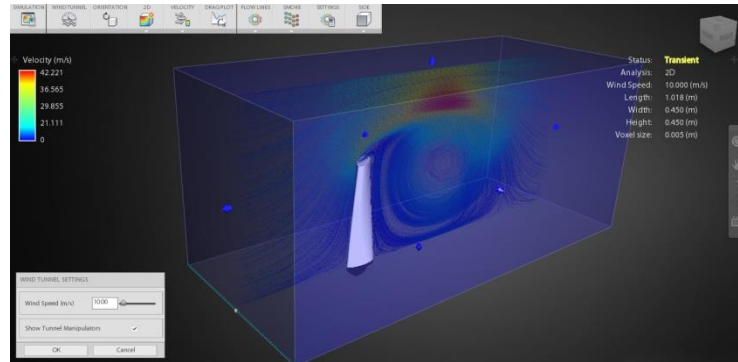


Figura VII.18. Modelo tridimensional, dentro del entorno de análisis del software de volumen finito basado en CFD.

### Análisis vertical

En la figura 19 se observa la interacción del flujo sobre el edificio y en diferentes zonas de análisis.

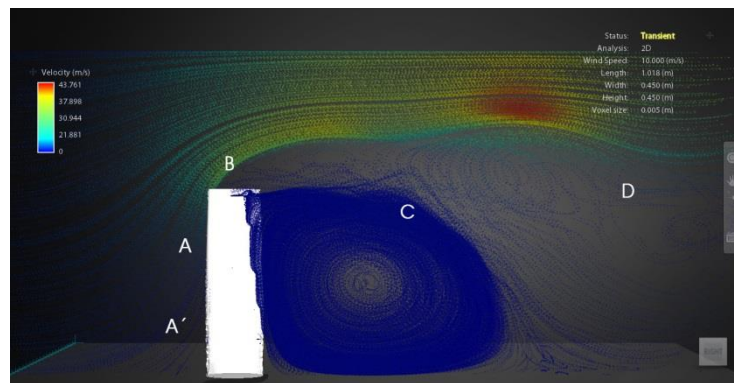
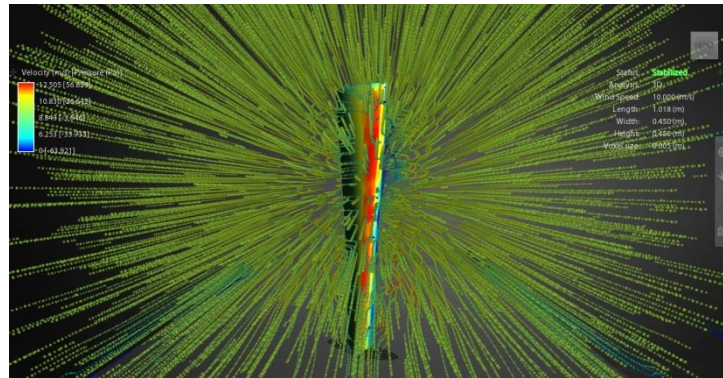


Figura VII.19. Líneas de corriente interactuando en la zona media del edificio.

Región A. La velocidad inicial del análisis es de 10 m/s y conforme va avanzando el flujo de aire hacia la parte más alta del edificio, se acelera y la velocidad alcanzada en este punto es de 21.881 m/s.

Región A'. La cara frontal del edificio, presenta mucha mayor resistencia ante el flujo, esta zona presenta una velocidad aproximada de 12.505 m/s, lo cual determina un impacto de presión aproximada a 56.829 Pa = 5.7949452667 [kgf/m²], como se muestra en la figura 20.



**Figura VII.20. Visualización de la cara frontal del prisma elíptico torcido, que muestra el impacto del viento en velocidad m/s y en presión Pa.**

En la imagen anterior podemos observar la fachada frontal del edificio, la cual se encuentra bajo el análisis de flujo de viento y presión superficial, la identificación de colores nos indica que el color rojo presente en cierta área de la fachada es equivalente a un valor de presión de 56.829 Pa = 5.7949452667 [kgf/m²], valor que aumento a 1.096 Pa, en relación el modelo del prisma elíptico con los vértices ortogonales y que presento un valor de 11.845 m/s, lo cual determina un impacto de presión aproximada a 55.733 Pa = 5,6831843698 [kgf/m²].

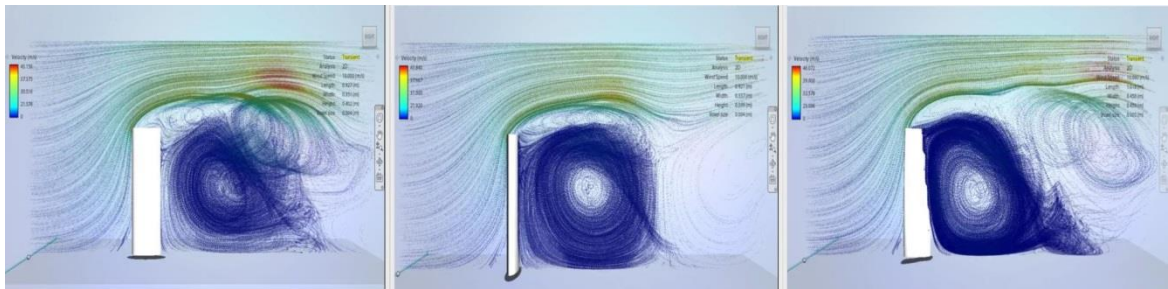
La velocidad de impacto del flujo de aire aumento ligeramente, se redujo el área de impacto por presión en la fachada y se redistribuyo a lo alto de una pequeña sección de los bordes rotados, lo que hace a este tipo de figuras altamente eficiente si lo que se busca es reducir el empuje del viento y que es determinante para poder tener edificaciones mucho más estables.

Región B. Presenta una aceleración ascendente con respecto a la velocidad de la región A y alcanza una velocidad aproximada de 30.944 m/s, la cual está comprendida por la parte superior del edificio.



Región C. Presenta una velocidad aproximada de 37.898 m/s ya que de acuerdo a la escala de colores de identificación de la velocidad, el flujo se mantiene ascendente hasta una distancia de 500 metros de la parte superior del edificio.

Región D. La velocidad presenta el punto de aceleración más bajo y adopta una dirección curva siguiendo la configuración geométrica del modelo, cuando el flujo de aire atraviesa completamente la altura total de la geometría tiene una recirculación de manera ascendente pero con menor energía cinética y el comportamiento del flujo adquiere una complejidad menor al presentar una serie de turbulencias que son evidentes por la formación de vórtices, la velocidad alcanzada es de aproximadamente 43.761 m/s.



**Figura VII.21. Comparativa del modelo de prisma rectangular con diferentes orientaciones. Extrema derecha ejemplo con la geometría rotada.**

## Análisis en planta

El comportamiento del volumen en planta se analiza en cuatro regiones y se describen enseguida.

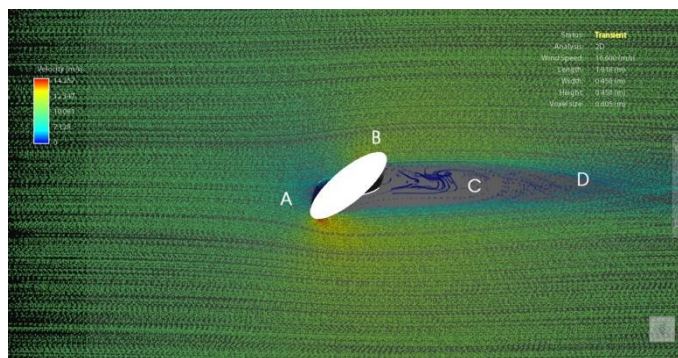


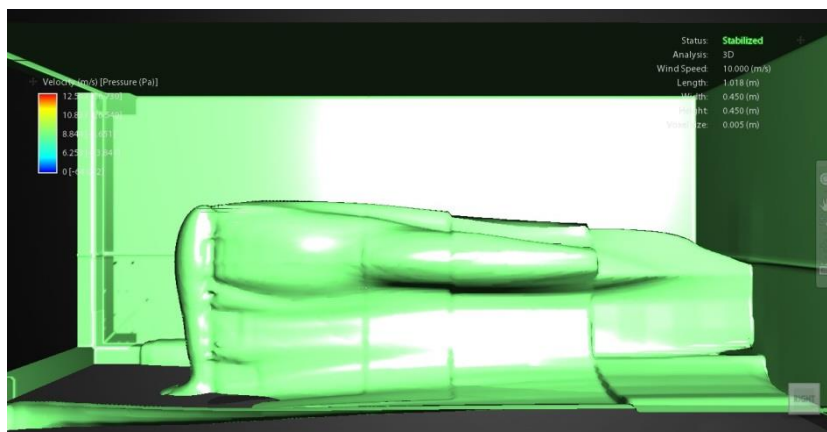
Figura VII.22. Vista en planta de elipse torcida en interacción con el viento.

Región A. La velocidad inicial del viento es de 10 m/s y al impactar con la pared del modelo, se acumula por ser la parte más expuesta, una parte de ese volumen de viento baja a 3.5 m/s de forma inmediata, donde se genera el área de presión positiva, al recorrer parte de la superficie de la fachada que es muy corta y se divide por la forma torcida de la geometría del edificio.

Región B. Presenta en las paredes laterales una aceleración aproximada de 10.081 m/s, en donde se abre para continuar hacia la parte trasera, donde se genera una zona de baja presión y de estabilización de la velocidad del flujo y una sección del volumen presenta de color rojo un punto de aceleración de 14.257 m/s donde después pasa hacia la parte trasera del edificio y se estabiliza.

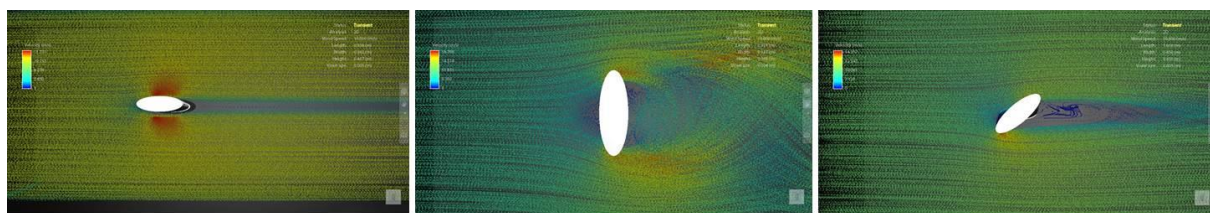
Región C. La zona de sotavento presenta una velocidad aproximada de 2 m/s y una sombra de viento de baja presión, esta área se va llenando de aire gradualmente, de tal forma que a una distancia aproximada del doble de la altura del edificio, el aire se encuentra en reposo.

Región D. Presenta un constante desprendimiento de aire con una velocidad de 10.00 m/s, que fluye hacia y desde el edificio, el viento recupera su velocidad original de una a una distancia de aproximadamente 3 veces la altura de la construcción, como se muestra en la figura 23.



**Figura VII.23. Isoperficie de vorticidad alrededor del edificio.**

Es notable la variación y la disminución de los efectos negativos de las figuras puramente ortogonales, con respecto a las figuras con una geometría suavizada y torcida, el impacto del viento se vuelve mucho menos errático en su comportamiento y en los empujes generados en la superficie.

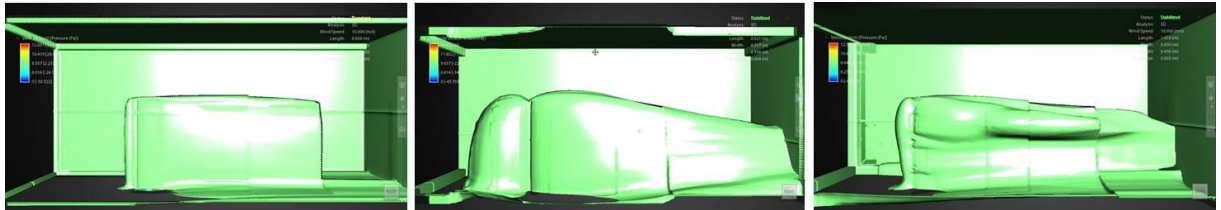


**Figura VII.24. Comparativa de los diferentes análisis en planta y que muestra la variación del comportamiento para cada caso.**

En la figura 24 se muestra la comparativa de las diferentes orientaciones y sus efectos ante el flujo de viento, la reducción de la velocidad del viento es notable en el cambio de geometría. De izquierda a derecha y con la identificación de colores es evidente que las dos primeras figuras dependiendo de su orientación de la fachada más y menor expuesta, son mucho más y menos deficientes ante este factor, mientras que la figura tres que presenta una modificación en su geometría es mucho más eficiente a los efectos de impacto de viento, por la reducción de vórtices y la presencia de puntos críticos de aceleración.

En la figura 25 muestran claramente de izquierda a derecha la variación del impacto de viento y la reducción de la sombra del edificio, las dos primeras imágenes

muestran una orientación de la fachada en el sentido más grande y otra en el más corto y la resistencia que presentan es muy variable mientras que la imagen tres es la misma figura pero torcida a lo largo de su altura, presenta una combinación de las dos imágenes anteriores, haciendo mucho más eficiente su comportamiento ante el empuje y el movimiento del flujo de viento.



**Figura VII.25. Isosuperficies que muestran la bolsa de impacto generada por las diferentes figuras geométricas.**

## **Conclusiones**

La metodología implementada nos permite entender la complejidad de las características internas de los rascacielos y nos sirve para proyectar edificaciones de gran altura con un grado de eficiencia mucho mayor que las actuales.

Del mismo modo los diversos análisis realizados en esta investigación nos han permitido entender la complejidad del comportamiento del viento, de una de las tipologías arquitectónicas más controversiales de todos los tiempos.

La posibilidad de diseñar y construir rascacielos mucho más eficientes a futuro, dependerá mucho de la capacidad tecnológica que tengamos a nuestro alcance. Es importante poder evaluar su comportamiento y desempeño en el entorno de emplazamiento final; ya que existen muchos otros factores que son determinantes para este tipo de edificaciones.

Esta investigación plantea un análisis detallado de las entidades que conforman un todo, la visualización; que es el entendimiento de las cosas. Analizar las características internas y funcionales de las relaciones humanas; que definen a los espacios de trabajo.

Queda mucho por hacer en este ámbito, esta investigación nos permite tener más dudas sobre la capacidad humana.

## **Trabajo presente**

La experiencia obtenida hasta este punto, nos permite cambiar la forma línea del pensamiento y del entendimiento arquitectónico. La forma de pensar y entender las cosas ahora es mucho más compleja, ya que la arquitectura y los procesos de la misma se vuelve mucho más complicados.



Se propone seguir en el ámbito de la investigación y la docencia, con la metodología de diseño y análisis de las edificaciones. Y no solo en la tipología del rascacielos, sino en otras tipologías arquitectónicas. Ya que de este modo permita influir en el pensamiento de las personas relacionadas con el medio.

La arquitectura bioclimática adquiere un papel mucho más fuerte, ya que con sus fundamentos se puede ampliar mucho más en el tema de experimentación y muchos más campos de aplicación, mediante el uso de simulaciones físicas y numéricas.

Se propone la generación de un laboratorio mucho más especializado en este tipo de tecnologías, que permita la vinculación con otras líneas del conocimiento y la implementación de una red global multidisciplinaria.



## Bibliografía

Díaz Olmo, J., 2012. *Túneles de viento: Líneas corriente*. [Online] Available at: <http://angelesenlacabeza.blogspot.mx/2012/12/tuneles-de-viento-lineas-de-corriente.html>

[Accessed 28 Diciembre 2013].

M. Ali, M., 2007. *Structural Developments in Tall Buildings*. [Online] Available at: <http://mahungroup.com/Structural%20Developments%20in%20Tall%20Buildings.pdf>

[Accessed 22 Enero 2013].

Real Ramírez, C. A., Orduña Martínez, R. & Huerta Velázquez, V., 2011. *Diseño Aerodinámico Experimental*. Primera ed. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Sánchez de Antuñano Barranco, J. M. A., 2006. *Visualizing complex designed environments*. 2004 ed. USA: Proquest Company.

Abalos, I., 2009. Verticalismo el futuro de los rascacielos. *El país*, 17 Enero.

Beedle, L. S., 2012. *The Council on Tall Buildings and Urban Habitat*. [Online] Available at: <http://www.ctbuh.org/>

[Accessed 10 Diciembre 2012].

BRITANNICA, E., 2013. *ENCYCLOPEDIA BRITANNICA*. [Online] Available at: <http://www.britannica.com/>

Carbajal, R., 2005. *Arquitectura y TIC'S*. [Online] [Accessed 30 Mayo 2012].

Cass Gilbert Society, 2001. *Cass Gilbert Society*. [Online] Available at: <http://www.cassgilbertsociety.org/works/nyc-woolworth-bldg/>

[Accessed 22 03 2012].

Dupré, J., 1956. *Skycrapers*. New York: Black Dog and Leventhal.

Edwards, B., 2008. *Guía básica de la sustentabilidad*. Barcelona: Gustavo Gili.

Foster and Partners, 2013. *Foster and Partners*. [Online] Available at: <http://www.fosterandpartners.com>

[Accessed 10 Junio 2012].





- Fuentes, V. F., 2004. *Ventilación Natural*. Primera ed. México D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Garreta, A. Á., 2003. *Arquitectos de rascacielos*. España: Atrium.
- Greatchicagofire, 2011. *Greatchicagofire*. [Online]  
Available at: <http://greatchicagofire.org/>  
[Accessed 21 Abril 2012].
- Hasiotis, S. T., 2003. *SciVerse Scopus*. [Online]  
Available at: <http://www.sciencedirect.com>  
[Accessed 23 01 2013].
- <http://www.esbnyc.com/contact.asp>, 2012. *Home - Empire State Building*. [Online]  
[Accessed 1 Abril 2012].
- Huxtable, A. L., 1982. *El Rascacielos la búsqueda de un estilo*. Madrid: NEREA.
- Itta, R., 2008. *Senda Natura*. [Online]  
Available at: <http://sendanatura.wordpress.com/2008/04/02/sistemas-bioclimaticos-en-fachadas/>  
[Accessed 25 Marzo 2012].
- Juarez, A., 1996. *CIRCO*. [Online]  
Available at: <http://www.arranz.net/web.arch-mag.com/3/circo/39.html>  
[Accessed 7 Octubre 2010].
- Lazo, O. R., 2005. Dibujo Asistido por computadora. *Industrial Data*, 8(1), pp. 18-24.
- M. Rull, E., 2012. Rascacielos: Son la mejor opción para las ciudades del futuro. *LA RAZÓN*, 08 Mayo.
- Machinist, A., 1998. *American Machinist*. [Online]  
Available at: <http://www.americanmachinist.com/>  
[Accessed 18 Junio 2012].
- Marshall, G., 2012. *The Council on Tall Buildings and Urban Habitat*. [Online]  
Available at: <http://www.ctbuh.org/>  
[Accessed 10 Diciembre 2012].
- Mech, 2004. *Sustainable buildings*. [Online]  
Available at: [http://www.mech.hku.hk/sbe/case\\_study/index/top.htm](http://www.mech.hku.hk/sbe/case_study/index/top.htm)  
[Accessed 21 Octubre 2012].



- Morales Cruz, A., 2013. *Visualización de viento en edificaciones de gran altura y su importancia bioclimática*. México D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Morales Cruz, A., 2014. *Visualización de viento en megaestructuras y su importancia bioclimática*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- MORALES CRUZ, A., FUENTES FREIXANET , V. & ANA , C., 2014. *Manual de túnel de viento de la Universidad Autónomá Metropolitana Azcapozalco*. Primera ed. México D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Museum, 2000. *Officemuseum*. [Online]  
Available at: <http://www.officemuseum.com/>  
[Accessed 11 Agosto 2011].
- Olgyay, V., 1998. *Arquitectura y clima. Manual d diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas..* Primera ed. Barcelona: Gustavo Gili.
- PAMPA, M. D. C. Y. E. D. L. P. D. L., 2001. *www.lapampa.edu.ar/*. [Online]  
[Accessed 30 MAYO 2012].
- Pfenniger, F., 2013. *Arquitectura acero*. [Online]  
Available at: <http://www.arquitecturaenacero.org>  
[Accessed Lunes Febrero 2013].
- Rabat, S., 2012. *Cambio climatico energia*. [Online]  
Available at: <http://cambioclimaticoenergia.blogspot.mx>  
[Accessed Martes Diciembre 2012].
- Real Academia Española , 2012. *Real Academia Española*. [Online]  
Available at: <http://www.rae.es/rae.html>  
[Accessed 22 Julio 2011].
- Rodríguez Ibarra, F. H., 2005. *Aplicaciones de la aerodinámica experimental a la arquitectura bioclimática*. México D.F.: Instituto de Ingeniería Aeronáutica .
- Rodríguez , M. V., 2008. *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*. México: Limusa.
- Rossi, L., 2009. *ARQUITECTURA Y BIOMIMESIS*, Barcelona: s.n.
- SEED, 2013. *SEED SCIENCE*. [Online]  
Available at: <http://www.planetseed.com>
- Tamayo, R., 2010. *Diario de la juventud cubana*. [Online]  
Available at: <http://www.juventudrebelde.cu/ciencia-tecnica/2010-09-16/la-quinta->



revolucion-industrial-esta-en-marcha/

[Accessed 26 Mayo 2012].

Terranova, A., 2003. *Rascacielos*. Barcelona: Ilustrado.

The Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 2011. *The Council on Tall Buildings and Urban Habitat*. [Online]

Available at: <http://www.ctbuh.org/>

[Accessed 22 Enero 2011].

Velázquez Soto, J. M., 2013. *Análisis físico y numérico del comportamiento del flujo de aire en un edificio*. Primera ed. México D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco.

Viqueira, V. A. F. F. y. M. R., 2004. *Ventilación natural, cálculos básicos para arquitectura*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Wright, H., 2008. *Rascacielos imponentes edificios que se alzan en el cielo*. Reino Unido: Parragon Books.

[www.cassgilbertsociety.org/architect/bio.html](http://www.cassgilbertsociety.org/architect/bio.html), 2001. *Cass Gilbert Society*. [Online]

Available at: [www.cassgilbertsociety.org/architect/bio.html](http://www.cassgilbertsociety.org/architect/bio.html)

[Accessed 24 Febrero 2012].

## Figuras

Figura I.1. Patrones generales del viento.....	7
Figura I.2.Líneas de corriente interactuando con un edificio. (Morales Cruz, 2013)...	9
Figura I.3.Diagrama de los "edificios más altos del mundo" hasta la fecha. (Beedle, 2012) .....	10
Figura I.4. Altura en relación al contexto. ....	11
Figura I.5. Proporción.....	11
Figura I.6. Tecnologías de los rascacielos. ....	12
Figura I.7. Edificios Supertall y Edificios Megatall. ....	13
Figura I.8. Casos estudio.....	14
Figura II.1.Chicago antes del gran incendio. Chicago 1871. ....	21
Figura II.2.Incendio de Chicago, vista aérea litografía 1871. Litografía de William Flint. ....	22



Figura II.3. Vista del centro financiero de Chicago, después del gran incendio. ....	23
Figura II.4. Fair Building William Le Baron Jenney 1891. ....	24
Figura II.5. Detalle Fair Building William Le Baron Jenney 1891. ....	25
Figura II.6. Otis pistón (izquierda) y el émbolo (derecha) ascensores hidráulicos. ....	26
Figura II.7. Oficina típica en Chicago, 1900. ....	29
Figura II.8. Edificio Home Insurance, William Le Baron Jenney. ....	30
Figura II.9. Edificio Flatiron. ....	32
Figura II.10. Edificio Woolworth. ....	33
Figura II.11. Muro de carga y columnas en retícula. ....	34
Figura II.12. Núcleo y esqueleto estructural. ....	35
Figura II.13. Tubo en tubo. ....	36
Figura II.14. Planos del edificio John Hancock Center. ....	37
Figura II.15. Torre Sears y su composición estructural de tubos agrupados. ....	38
Figura II.16. Tubo agrupado. ....	39
Figura II.17. Variaciones del uso de los rascacielos. ( M. Ali , 2007) ....	41
Figura II.18. Clasificación de los sistemas estructurales de los rascacielos por Fazlur Khan (superior: acero, inferior: concreto). ....	42
Figura II.19. Estructura interna. ....	43
Figura II.20. Núcleo estructural y fachada dinámica de soporte. ....	44
Figura III.1. Perfiles de velocidad en diferentes escenarios. (Fuentes, 2004) ....	50
Figura III.2. Comportamiento del viento a nivel planetario, debido a la acción de las fuerzas. ....	51
Figura III.3. Patrón general del viento (vientos alisos). ....	52
Figura III.4. Impacto del viento en una superficie. Presión baja (-) y Presión alta (+). ....	53
Figura III.5. Impacto de viento. Alzado. ....	53
Figura III.6. Torres eólicas de la ciudad de Yazd. Irán. ....	54
Figura III.7. Techo abovedado y torres eólicas de una cisterna. ....	55
Figura III.8. Esquema de funcionamiento de la torre eólica con cisterna. ....	55
Figura III.9. Esquema de funcionamiento de una torre eólica. ....	56
Figura III.10. Comportamiento de una torre eólica captando aire. ....	57
Figura III.11. Esquema de un iglú y su comportamiento ante el viento exterior. ....	58



Figura III.12. Conjunto Habitacional Pedregulho, Río de Janeiro.....	59
Figura III.13. Análisis de viento en Conjunto habitacional Pedregulho.....	59
Figura III.14. “Torre Turbina” análisis de viento del modelo, Richard Rogers. (Edwards, 2008) .....	60
Figura III.15. Mezquita del Sultán Abdul Aziz Shah de Kuala Lumpur. ....	61
Figura III.16. Centro Cultural Jean Marie Tjibaou. Corte. ....	61
Figura III.17. Análisis de viento Centro Cultural Jean Marie Tjibaou. ....	62
Figura III.18. Comportamiento del viento en Centro Cultural Jean Marie Tjibaou. ....	62
Figura III.19. Banco de Comercio de Frankfurt de Sir Norman Foster. ....	63
Figura III.20. Banco de Comercio de Frankfurt de Sir Norman Foster. ....	64
Figura III.21. Esquema del sistema de ventilación. ....	65
Figura III.22. Torre RWE en Essen, Alemania, del Arquitecto Ingenhoven Overdiek. .....	66
Figura III.23. Esquema torre turbina Richard Rogers. ....	68
Figura III.24. Planta tipo, Torre RWE AG, Essen, Alemania. ....	71
Figura III.25. Corte y detalle Torre RWE AG. ....	72
Figura III.26. Análisis de viento anual Essen, Alemania. (Mech, 2004).....	73
Figura III.27. Presión cualitativa del viento en la superficie del edificio. ....	74
Figura III.28. Planta tipo torre Swiss Re, Londres, Inglaterra, Norman Foster. (Foster and Partners, 2013).....	75
Figura III.29. Concepto del viento en comparación con una figura prismática. (Foster and Partners, 2013).....	76
Figura III.30. Análisis del viento. (Foster and Partners, 2013).....	77
Figura III.31. Proyecto conceptual biomimético <i>Echinocactus grusonii</i> . (Morales Cruz, 2013) .....	79
Figura III.32. Editt Tower del arquitecto Kenneth Yeang. ....	80
Figura III.33. Diferentes componentes de la Torre Editt. ....	81
Figura III.34. Análisis de la velocidad del viento en un edificio. (Morales Cruz, 2013) .....	84
Figura III.35. Análisis de velocidad de viento para diversas formas de edificaciones. (Morales Cruz, 2013).....	85
Figura III.36. Prueba en túnel de viento de la Torre Shanghái. ....	86



Figura III.37. Estudios en túnel de viento de la Torre Shanghai, izquierda muestra la eficiencia del edificio en diferentes tamaños y derecha muestra la eficiencia según el grado de rotación del modelo. ....	86
Figura III.38. Análisis de viento de la Torre Mayor. (Morales Cruz, 2013).....	87
Figura IV.1.Casos de análisis.....	90
Figura IV.2. Rascacielos Sinma Umeda Sky.....	93
Figura IV.3.Rascacielos Torre Agbar. ....	95
Figura IV.4. Rascacielos Torre Max Frankfurt. ....	97
Figura IV.5. Rascacielos Commerzbank. ....	99
Figura IV.6. Rascacielos Torre Mayor. ....	101
Figura IV.7. Rascacielos National Commercial Bank. ....	103
Figura IV.8. Rascacielos London Brige Tower. ....	105
Figura IV.9. Rascacielos Central Plaza. ....	107
Figura IV.10. Rascacielos Titanium.....	109
Figura IV.11. Rascacielos GAP 15.....	111
Figura IV.12. Rascacielos Tour Sans Fins. ....	113
Figura IV.13. Análisis área usable rascacielos Umeda Sky Building.....	115
Figura IV.14. Análisis área usable rascacielos National Commercial Bank.....	115
Figura IV.15. Análisis área usable rascacielos Torre Frankfurt. ....	116
Figura IV.16. Análisis área usable rascacielos Commerzbank.....	116
Figura IV.17. Análisis área usable rascacielos Torre Mayor. ....	117
Figura IV.18.Análisis área usable rascacielos Tour Sans Fins.....	117
Figura IV.19. Análisis área usable rascacielos Torre Agbar.....	118
Figura IV.20. Análisis área usable rascacielos Torre GAP 15.....	118
Figura IV.21. Análisis área usable rascacielos London Bridge Tower.....	119
Figura IV.22. Análisis área usable rascacielos Torre Titanium.....	119
Figura IV.23. Análisis área usable rascacielos Central Plaza. ....	120
Figura IV.24. Análisis de Área Usable, Planta tipo Torre Mayor.....	121
Figura IV.25. Análisis de Área Usable, Planta tipo Central Plaza.....	122
Figura IV.26. Sobreposición de los mejores casos de estudio. ....	123
Figura IV.27. Análisis de Área Usable, Planta tipo Umeda Sky.....	124
Figura IV.28. Análisis de Área Usable, Planta tipo Tour Sans Fins.....	125



Figura IV.29. Sobreposición de los peores casos de estudio. ....	126
Figura IV.30. Planta tipo Torre Mayor. ....	129
Figura IV.31. Entidades definidas en la planta tipo del rascacielos Torre Mayor. ...	129
Figura IV.32. Unificación de las entidades con el Metamódulo. ....	130
Figura IV.33. Análisis de Amueblabilidad Umeda Sky.....	131
Figura IV.34. Análisis de Amueblabilidad National Commercial Bank. ....	131
Figura IV.35. Análisis de Amueblabilidad Torre Max Frankfurt.....	132
Figura IV.36. Análisis de Amueblabilidad Commerzbank. ....	132
Figura IV.37. Análisis de Amueblabilidad Tour Sans Fins. ....	133
Figura IV.38. Análisis de Amueblabilidad Torre Mayor.....	133
Figura IV.39. Análisis de Amueblabilidad Torre Agbar. ....	134
Figura IV.40. Análisis de Amueblabilidad Torre GAP 15. ....	134
Figura IV.41. Análisis de Amueblabilidad London Bridge Tower. ....	135
Figura IV.42. Análisis de Amueblabilidad Central Plaza.....	135
Figura IV.43. Análisis de Amueblabilidad Torre Titanium. ....	136
Figura IV.44. Análisis de Amueblabilidad, Planta tipo Umeda Sky.....	137
Figura IV.45. Análisis de Amueblabilidad, Planta tipo Torre Mayor. ....	138
Figura IV.46. Sobreposición de los mejores casos de estudio. ....	139
Figura IV.47. Análisis de Amueblabilidad edificio National Commercial Bank.....	140
Figura IV.48. Análisis de Amueblabilidad edificio Torre Agbar. ....	141
Figura IV.49. Sobreposición de los mejores casos de estudio. ....	142
Figura IV.50. Análisis de Flexibilidad rascacielos Umeda Sky Building.....	144
Figura IV.51. Análisis de Flexibilidad rascacielos National Commercial Bank. ....	145
Figura IV.52. Análisis de Flexibilidad rascacielos Max Frankfurt.....	145
Figura IV.53. Análisis de Flexibilidad rascacielos Commerzbank.....	146
Figura IV.54. Análisis de Flexibilidad rascacielos Torre Mayor. ....	146
Figura IV.55. Análisis de Flexibilidad rascacielos Tour Sans Fins.....	147
Figura IV.56. Análisis de Flexibilidad rascacielos Torre Agbar.....	147
Figura IV.57. Análisis de Flexibilidad rascacielos Torre Gap 15.....	148
Figura IV.58. Análisis de Flexibilidad rascacielos London Bridge.....	148
Figura IV.59. Análisis de Flexibilidad rascacielos Central Plaza. ....	149
Figura IV.60. Análisis de Flexibilidad rascacielos Torre Titanium.....	149





Figura IV.61. Análisis de Flexibilidad, Planta tipo Torre Mayor. ....	150
Figura IV.62. Análisis de Flexibilidad, Planta tipo Torre Titanium.....	151
Figura IV.63. Sobreposición de los mejores casos de estudio. ....	152
Figura IV.64. Análisis de Flexibilidad, Planta tipo Umeda Sky. ....	153
Figura IV.65. Análisis de Flexibilidad, Planta tipo Commerzbank.....	154
Figura IV.66. Sobreposición de los peores casos de estudio. ....	155
Figura V.1. Partes de un túnel de viento abierto. ....	161
Figura V.2. Esquema de un túnel de viento de circuito cerrado. ....	163
Figura V.3. Esquema de un túnel de viento de circuito abierto. ....	163
Figura V.4. Vista superior túnel de viento.....	164
Figura V.5 . Vista frontal y sección longitudinal de túnel de viento.....	166
Figura V.6. Mecanismo de inyección de humo.....	167
Figura V.7.Mecanismo de inyección de humo actual .....	168
Figura V.8. Vista frontal de túnel de viento.....	168
Figura V.9. Contenedor de parafina en la cámara de humo y líquido de parafina...	169
Figura V.10. Interruptor de control de la cámara de humo. ....	169
Figura V.11. Peine de humo.....	170
Figura V.12. Controladores del túnel.....	170
Figura V.13. Compuerta de regulación de flujo. ....	171
Figura V.14. Cámara de ensayos.....	171
Figura V.15. Ejemplo de líneas de corriente en un automóvil. ( Diaz Olmo, 2012). ....	173
Figura V.16. Perfil de un ala de avión y comportamiento ante el viento. ( Diaz Olmo, 2012). ....	174
Figura V.17. Flujos turbulento y laminar. ....	175
Figura V.18. Distribución de viento en la base de un edificio. (Morales Cruz, 2013) .....	178
Figura V.19. Capturas de pantalla de visualización de viento en dispositivos smartphone iOS (iPod y iPad) .....	179
Figura V.20. Análisis de viento alrededor de un edificio en túnel de viento. (Olgyay, 1998) .....	181
Figura V.21. Análisis de viento alrededor de un edificio en Wind Tunnel App. (Morales Cruz, 2014).....	182



Figura V.22. Modelo a escala - Rectángulo. ....	184
Figura V.23. Modelo a escala Triángulo. ....	184
Figura V.24. Modelo a escala Elipse. ....	185
Figura V.25. Modelo a escala Círculo. ....	185
Figura VI.1. Vista frontal de prisma cilíndrico. ....	188
Figura VI.2. Vista superior de prisma cilíndrico. ....	188
Figura VI.3. Comportamiento del viento prisma cilíndrico. ....	189
Figura VI.4. Vista frontal de prisma triangular. ....	190
Figura VI.5. Vista superior de prisma triangular. ....	190
Figura VI.6. Comportamiento del viento prisma triangular. ....	191
Figura VI.7. Vista frontal de prisma triangular. ....	192
Figura VI.8. Vista superior de prisma triangular. ....	192
Figura VI.9. Comportamiento del viento prisma triangular. ....	193
Figura VI.10. Vista frontal de prisma rectangular. ....	193
Figura VI.11. Vista superior de prisma rectangular. ....	194
Figura VI.12. Comportamiento del viento prisma rectangular. ....	194
Figura VI.13. Vista frontal de prisma rectangular. ....	195
Figura VI.14. Vista superior de prisma rectangular. ....	195
Figura VI.15. Comportamiento del viento prisma rectangular. ....	196
Figura VI.16. Vista frontal de prisma elíptico. ....	196
Figura VI.17. Vista superior de prisma elíptico. ....	197
Figura VI.18. Comportamiento del viento prisma elíptico. ....	197
Figura VI.19. Vista frontal de prisma elíptico. ....	198
Figura VI.20. Vista superior de prisma elíptico. ....	198
Figura VI.21. Comportamiento del viento prisma elíptico. ....	199
Figura VI.22. Modelos tridimensionales para el análisis comparativo. ....	200
Figura VI.23. Modelo tridimensional del análisis de un cilindro, dentro del entorno de análisis del software de volumen finito basado en CFD. ....	201
Figura VI.24. Líneas de corriente interactuando en la zona media del edificio. ....	202
Figura VI.25. Visualización de la cara frontal del prisma cilíndrico, que muestra el impacto del viento en velocidad m/s y en presión Pa. ....	203
Figura VI.26. Vista en planta del cilindro en interacción con el viento. ....	204



Figura VI.27. Isoperficie de vorticidad alrededor del edificio. ....	205
Figura VI.28. Modelo tridimensional del análisis de un prisma triangular, dentro del entorno de análisis del software de volumen finito basado en CFD. ....	205
Figura VI.29. Líneas de corriente interactuando en la fachada más expuesta del edificio. ....	206
Figura VI.30. Visualización de la cara frontal del prisma triangular, que muestra el impacto del viento en velocidad m/s y en presión Pa. ....	207
Figura VI.31. Líneas de corriente interactuando en la fachada menos expuesta del edificio. ....	208
Figura VI.32. Visualización de la cara frontal del prisma triangular, que muestra el impacto del viento en velocidad m/s y en presión Pa. ....	209
Figura VI.33. Vista en planta del prisma triangular en interacción con el viento. ....	210
Figura VI.34. Isoperficie de vorticidad alrededor del edificio. ....	211
Figura VI.35. Vista en planta del prisma triangular en interacción con el viento. ....	211
Figura VI.36. Isoperficie de vorticidad alrededor del edificio. ....	212
Figura VI.37. Modelo tridimensional del análisis de un prisma rectangular, dentro del entorno de análisis del software de volumen finito basado en CFD. ....	213
Figura VI.38. Líneas de corriente interactuando en la zona media del edificio. ....	213
Figura VI.39. Visualización de la cara frontal del prisma triangular, que muestra el impacto del viento en velocidad m/s y en presión Pa. ....	214
Figura VI.40. Líneas de corriente interactuando en la zona media del edificio. ....	215
Figura VI.41. Visualización de la cara frontal del prisma triangular, que muestra el impacto del viento en velocidad m/s y en presión Pa. ....	216
Figura VI.42. Vista en planta del prisma rectangular en interacción con el viento. ....	217
Figura VI.43. Isoperficie de vorticidad alrededor del edificio. ....	218
Figura VI.44. Vista en planta del prisma rectangular en interacción con el viento. ....	218
Figura VI.45. Isoperficie de vorticidad alrededor del edificio. ....	219
Figura VI.46. Modelo tridimensional del análisis de un prisma elíptico, dentro del entorno de análisis del software de volumen finito basado en CFD. ....	220
Figura VI.47. Líneas de corriente interactuando en la zona media del edificio. ....	220
Figura VI.48. Visualización de la cara frontal del prisma elíptico, que muestra el impacto del viento en velocidad m/s y en presión Pa. ....	221



Figura VI.49. Líneas de corriente interactuando en la zona media del edificio. ....	222
Figura VI.50. Visualización de la cara frontal del prisma elíptico, que muestra el impacto del viento en velocidad m/s y en presión Pa. ....	223
Figura VI.51. Vista en planta del prisma elíptico en interacción con el viento. ....	224
Figura VI.52. Isoperficie de vorticidad alrededor del edificio. ....	225
Figura VI.53. Vista en planta del prisma elíptico en interacción con el viento. ....	225
Figura VI.54. Isoperficie de vorticidad alrededor del edificio. ....	226
Figura VII.1. Propuestas de los rascacielos en forma tridimensional. ....	230
Figura VII.2. Modelo tridimensional, dentro del entorno de análisis del software de volumen finito basado en CFD. ....	232
Figura VII.3. Líneas de corriente interactuando en la zona media del edificio. ....	232
Figura VII.4. Visualización de la cara frontal del prisma triangular, que muestra el impacto del viento en velocidad m/s y en presión Pa. ....	233
Figura VII.5. Comparativa del modelo de prisma triangular con diferentes orientaciones. Extrema derecha ejemplo con la geometría rotada. ....	234
Figura VII.6. Vista en planta del prisma rectangular en interacción con el viento. ....	235
Figura VII.7. Isoperficie de vorticidad alrededor del edificio. ....	236
Figura VII.8. Comparativa de los diferentes análisis en planta y que muestra la variación del comportamiento para cada caso. ....	236
Figura VII.9. Isosuperficies que muestran la bolsa de impacto generada por las diferentes figuras geométricas. ....	237
Figura VII.10. Modelo tridimensional, dentro del entorno de análisis del software de volumen finito basado en CFD. ....	237
Figura VII.11. Líneas de corriente interactuando en la zona media del edificio. ....	238
Figura VII.12. Visualización de la cara frontal del prisma rectangular, que muestra el impacto del viento en velocidad m/s y en presión Pa. ....	238
Figura VII.13. Comparativa del modelo de prisma rectangular con diferentes orientaciones. Extrema derecha ejemplo con la geometría rotada. ....	240
Figura VII.14. Vista en planta del prisma rectangular en interacción con el viento. ....	240
Figura VII.15. Isoperficie de vorticidad alrededor del edificio. ....	241
Figura VII.16. Comparativa de los diferentes análisis en planta y que muestra la variación del comportamiento para cada caso. ....	241



Figura VII.17. Isosuperficies que muestran la bolsa de impacto generada por las diferentes figuras geométricas. ....	242
Figura VII.18. Modelo tridimensional, dentro del entorno de análisis del software de volumen finito basado en CFD. ....	243
Figura VII.19. Líneas de corriente interactuando en la zona media del edificio. ....	243
Figura VII.20. Visualización de la cara frontal del prisma elíptico torcido, que muestra el impacto del viento en velocidad m/s y en presión Pa. ....	244
Figura VII.21. Comparativa del modelo de prisma rectangular con diferentes orientaciones. Extrema derecha ejemplo con la geometría rotada.....	245
Figura VII.22. Vista en planta de elipse torcida en interacción con el viento.....	246
Figura VII.23. Isoperficie de vorticidad alrededor del edificio. ....	247
Figura VII.24. Comparativa de los diferentes análisis en planta y que muestra la variación del comportamiento para cada caso. ....	247
Figura VII.25. Isosuperficies que muestran la bolsa de impacto generada por las diferentes figuras geométricas. ....	248

## Tablas

Tabla II-1. Informe Estadístico Anual de la American Iron and Steel Association muestra la caída de los precios del acero desde 1867 hasta 1895.....	31
Tabla IV-1. Datos cuantificables del Área Usable Torre Mayor.....	121
Tabla IV-2. Datos cuantificables del Área Usable rascacielos Central Plaza. ....	122
Tabla IV-3. Datos cuantificables del Área Usable rascacielos Umeda Sky.....	124
Tabla IV-4. Datos cuantificables del Área Usable rascacielos Tour Sans Fins. ....	125
Tabla IV-5. Datos cuantificables de Área Usable de los casos de estudio.....	127
Tabla IV-6. Datos cuantificables de Amueblabilidad del edificio Umeda Sky. ....	137
Tabla IV-7. Datos cuantificables de Amueblabilidad del edificio Torre Mayor. ....	138
Tabla IV-8. Datos cuantificables de Amueblabilidad del edificio National Commercial Bank.....	140
Tabla IV-9. Datos cuantificables de Amueblabilidad del edificio Torre Agbar. ....	141
Tabla IV-10. Datos cuantificables de Amueblabilidad de los casos de estudio. ....	143
Tabla IV-11. Datos cuantificables de Flexibilidad de Torre Mayor.....	150



Tabla IV-12. Datos cuantificables de Flexibilidad de Torre Titanium.....	151
Tabla IV-13. Datos cuantificables de Flexibilidad de Umeda Sky.....	153
Tabla IV-14. Datos cuantificables de Flexibilidad de Commerzbank.....	154
Tabla IV-15. Datos cuantificables de Flexibilidad de los casos de estudio.....	156

